

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Часть 9

Учебное пособие

Под редакцией
профессора **Д.Б. Гелашвили**

Рекомендовано ученым советом
Института биологии и биомедицины ННГУ
для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки
05.03.06 «Экология и природопользование», 06.03.01 «Биология»

Нижний Новгород
2017

УДК 574
ББК Е 087
Э-40

Рецензенты:

д.б.н., профессор **А.И. Дмитриев**,
к.б.н., доцент **Г.А. Кравченко**

Э-40 **Экологический мониторинг. Часть 9:** учебное пособие / под ред. проф.
Д.Б. Гелашвили. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 151 с.

ISBN 978-5-91326-430-5

В девятой части учебного пособия представлен широкий круг методологических и методических вопросов биоиндикации и современного экологического мониторинга наземных и водных экосистем: явления гормезиса и парадоксальных эффектов при использовании растений в биоиндикации, методы мониторинга ценотической активности растений и методы лесопатологического мониторинга, способы оценки иммунного статуса популяций амфибий, принципы и методы ландшафтной эпидемиологии, современные подходы к классификации гидробиоценозов на основании сходства видовой структуры, методы биоремедиации загрязненных водоемов и водотоков урбанизированной территории, методические основы подготовки проекта нормативов образования отходов и лимитов на их размещение.

Для студентов (бакалавриат и магистратура), аспирантов и преподавателей, занимающихся вопросами биоиндикации и экологического мониторинга наземных и водных экосистем.

Ответственный за выпуск:

председатель методической комиссии ИББМ ННГУ к.б.н. Е.Л. Воденеева

УДК 574
ББК Е 087

ISBN 978-5-91326-430-5

© Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

В девятой части учебного пособия представлен широкий круг методологических и методических вопросов биоиндикации и современного экологического мониторинга наземных и водных экосистем: явления гормезиса и парадоксальных эффектов при использовании растений в биоиндикации, методы мониторинга ценотической активности растений и методы лесопатологического мониторинга, способы оценки иммунного статуса популяций амфибий, принципы и методы ландшафтной эпидемиологии, современные подходы к классификации гидробиоценозов на основании сходства видовой структуры, методы биоремедиации загрязненных водоемов и водотоков урбанизированной территории, методические основы подготовки проекта нормативов образования отходов и лимитов на их размещение. Главы учебного пособия иллюстрированы, все темы раскрыты с учетом современных достижений в области биоиндикации и экологического мониторинга наземных и водных экосистем, что отражено в списках литературных источников для каждой главы.

Авторский коллектив надеется, что данное учебное пособие послужит руководством в учебной и научно-исследовательской работе студентам, аспирантам и преподавателям, занимающимся вопросами биоиндикации и экологического мониторинга наземных и водных экосистем, нормирования обращения с отходами производства и потребления в рамках соответствующих научно-исследовательских тем и учебных курсов «Экологический мониторинг», «Прикладная экология», «Экологическая экспертиза», «Экология и рациональное природопользование», «Общая экология» для направлений подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование» и 06.03.01 «Биология».

ГЛАВА 1. МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ ГОРМЕЗИСА И ПАРАДОКСАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ В ЦЕЛЯХ БИОИНДИКАЦИИ

1.1. ГОРМЕЗИС И ПАРАДОКСАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ У РАСТЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

До не давнего времени в токсикологии господствовали представления о том, что подавляющее большинство эмпирических зависимостей «доза—эффект» описываются монотонными функциями и соответствуют двум типам аппроксимационных кривых: 1) S-образные кривые, 2) показательные (экспоненциальные) кривые (Батын и др., 2009) (рис. 1.1). Кроме того, превалировали представления о существовании пороговой дозы (минимальной действующей дозы) – минимальной дозы, вызывающей изменения на уровне организма, выходящие за пределы физиологических реакций (Calabrese, Blain, 2009). Полагали, что дозы (концентрации) менее порогового значения не могут изменять состояние организма. Подобные взгляды были вызваны тем, что токсикологи основное внимание уделяли диапазону «больших» доз – летальных и сублетальных (Calabrese, 2008).

Однако постепенно накапливались данные, свидетельствующие о том, что некоторые дозы (концентрации) меньшие пороговой могут существенно влиять на различные параметры организма (Подколзин, Гуревич, 2002). Такие дозы (концентрации) называли малыми и сверхмалыми. В настоящее время под малыми дозами веществ чаще всего подразумевают дозы (концентрации) на 1—2 порядка меньшие, чем действующие (медианные, пороговые, эффективные и др.) (Булатов и др., 2002). В качестве сверхмалых рассматриваются концентрации веществ в интервале 10^{-18} — 10^{-14} М, поскольку действие концентраций более 10^{-12} М еще можно как-то объяснить на основе традиционных представлений лиганд-рецепторной кинетики. При концентрациях менее 10^{-19} М в экспериментальном объеме порядка 1 мл может не быть даже одной молекулы вещества. В большинстве исследований биоэффекты не наблюдаются при переходе к концентрациям ниже 10^{-18} М (Булатов и др., 2002).

Следует подчеркнуть, что строгих общепринятых критериев для выделения диапазона малых и сверхмалых доз фактора до сих пор не существует и приводимое выше определение является достаточно условным, поскольку эффекты малых доз выявлены не только для физиологически активных веществ, а также для химических соединений, не имеющих рецепторов-мишеней в орга-

низме, и физических факторов (температуры, ионизирующего и ультрафиолетового излучений и др.).

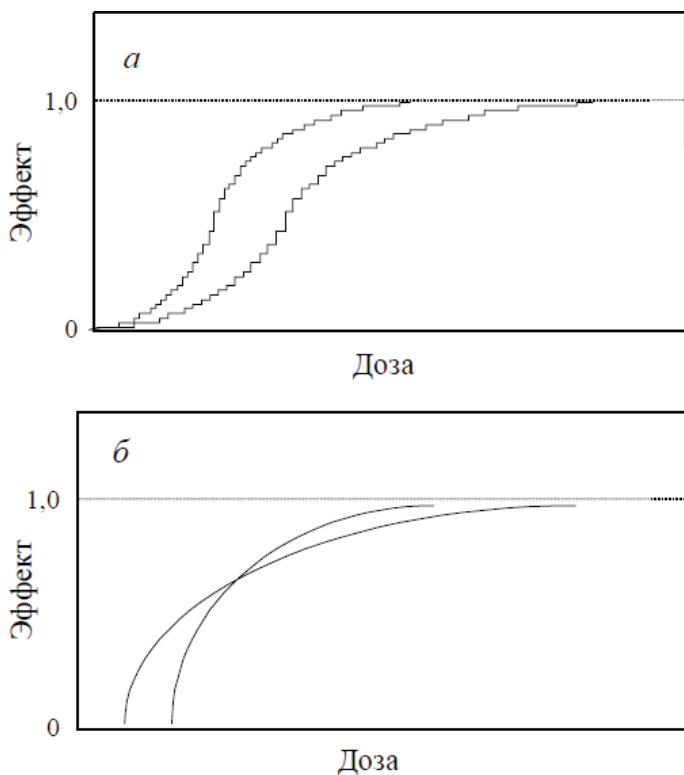


Рис. 1.1. Основные виды монотонных зависимостей доза-эффект: *а* — S-образные; *б* — экспоненциальные (Булатов и др., 2002)

Зависимости доза-эффект, включающие малые и сверхмалые дозы фактора, могут быть немонотонными. Выделяют два типа подобных немонотонных ответов биосистем – гормезис и парадоксальный эффекты (Булатов и др., 2002; Батян и др., 2009 и др.). Некоторые авторы полагают, что гормезис является частным случаем парадоксальных эффектов (Булатов и др., 2002).

В последние годы в области токсикологии все большее признание получают представления о том, что немонотонные ответы живых организмов (гормезис, парадоксальные эффекты) встречаются, не менее часто, чем классические монотонные зависимости доза-эффект (S-образные; экспоненциальные) (Calabrese, 2008; Батян и др., 2009).

Изучению немонотонных зависимостей особенно пристальное внимание уделяется за рубежом, где создаются научные общества по данной тематике (International Dose-Response Society: www.dose-response.org), базы данных по немонотонным ответам у микроорганизмов, животных и растений (Calabrese, Blain, 2009).

Гормезис и парадоксальные эффекты относятся к немонотонным зависимостям доза-эффект, при которых происходит изменение направления отклика биосистемы при возрастании силы воздействующего фактора. Напомним, что монотонные зависимости доза-эффект описываются монотонными функциями, то есть функциями, приращение которых не меняет знака (либо всегда неотрицательное – $\Delta(f) \geq 0$, либо всегда неположительное – $\Delta(f) \leq 0$). Другими словами монотонная функция — это функция, меняющаяся в одном и том же направлении. Соответственно немонотонные зависимости доза-эффект описываются немонотонными функциями, приращение которых меняет знак, то есть такие функции меняются в разных направлениях на разных интервалах значений независимой переменной. Немонотонные функции имеют экстремумы (максимумы или минимумы), при этом они могут достигаться только внутри области определения функции, концы сегментов области определения не могут служить точками, в которых функция принимает экстремум. Функция $f(x)$ имеет в точке x_0 максимум (минимум), если для достаточно малого приращения Δx (любого знака) выполняется неравенство:

$$f(x_0 + \Delta x) < f(x_0) \quad (1.1)$$

$$f(x_0 + \Delta x) > f(x_0) \quad (1.2)$$

Гормезис представляет собой двухфазную зависимость доза-эффект, в при которой низкие дозы воздействующего фактора оказывают стимулирующее (положительное) влияние на биологический объект, а высокие дозы фактора оказывают ингибирующее, то есть повреждающее воздействие (Calabrese, 2008) (рис. 1.2).

Некоторыми авторами предлагаются количественные характеристики горметической кривой (Calabrese, 2008) (рис. 1.3). Выделяют горметическую зону кривой (Hormetic Zone) – диапазон доз, оказывающих стимулирующий эффект. Горметическую зону кривой предлагают характеризовать двумя показателями (Calabrese, 2008): 1) шириной диапазона стимулирующих доз; 2) максимальной величиной стимулирующего эффекта, выраженной в процентах от контроля (Maximum response). Максимальный стимулирующий эффект чаще всего составляет 130-160% от контрольного значения (Calabrese, Blain, 2009). Полагают, что при гормезисе следует учитывать стимулирующий эффект начиная с 110% от контрольной величины (Calabrese, Blain, 2009). Кроме того, в пределах горметической зависимости выделяют максимальную дозу, не оказывающую повреждающего воздействия (No observed adverse effect level - NOAEL).

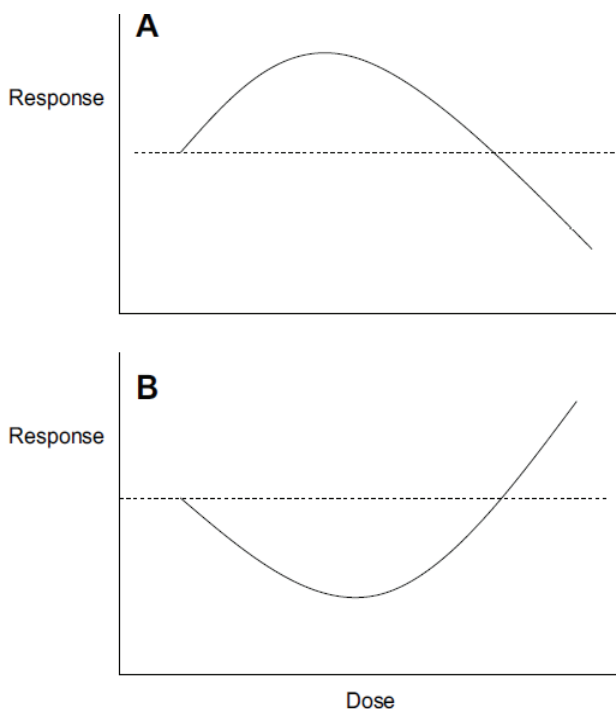


Рис. 1.2. Зависимость доза-эффект при гормезисе. *Примечание:* А – инвертированная U-образная горметическая кривая, описывающая стимулирующий эффект при низких дозах и ингибирующий – при высоких дозах, В – J-образная (=U-образная) горметическая кривая, описывающая снижение повреждающего эффекта при низких дозах и возрастание повреждающего эффекта при высоких дозах). Пунктиром обозначен контрольный уровень параметра (Calabrese, Blain, 2009)

К парадоксальным эффектам относятся зависимости доза-эффект (двух-фазные или многофазные), при которых увеличение дозы токсиканта приводит к снижению его повреждающего действия и, наоборот, снижение дозы токсиканта увеличивает его повреждающий эффект (Булатов и др., 2002; Батын и др., 2009). Фактически существующее определение парадоксальных эффектов включает любые немонотонные зависимости доза-эффект, кроме двухфазной горметической кривой.

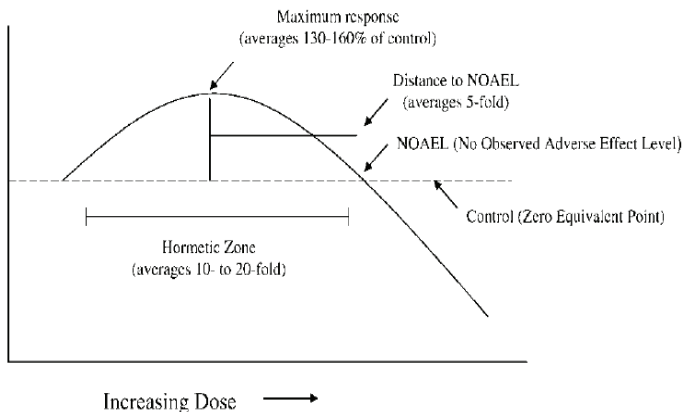


Рис. 1.3. Количественные характеристики кривой горметической зависимости доза-эффект (Calabrese, 2008) (пояснения в тексте)

Не смотря на значительный интерес исследователей в последние годы к немоноотным ответам биосистем, следует подчеркнуть, что у растений данные явления изучены существенно меньше по сравнению с животными. При этом явлению гормезиса у растений посвящено на порядки больше работ, чем парадоксальным эффектам.

Имеются данные о способности различных физических и химических факторов вызывать явление гормезиса у растений. Среди физических факторов наиболее изучено влияние ионизирующего излучения (радиационный гормезис), подобное явление обнаружено и для ультрафиолетового излучения. Среди химических агентов (химический гормезис) показано горметическое действие на растения как соединений, являющихся ксенобиотиками, так и эндогенных веществ, таких как гормоны растений (Calabrese, Blain, 2009), в том числе синтетических и естественных ауксинов, вторичных метаболитов растений – алкалоидов, терпеноидов, фенольных соединений, а также флавоноидов (Casabrese, Blain, 2009).

В настоящее время активно изучается способность некоторых органических загрязнителей окружающей среды, таких как гербициды, вызывать гормезис у различных видов растений, в том числе в отношении роста. Среди гербицидов имеются данные об активации роста малыми и сублетальными дозами глифосата, что, частности, для малых доз связывают со стимуляцией фотосинтеза данным токсикантом. Напомним что ингибирующий эффект данного токсиканта в отношении роста обусловлен тем, что глифосат является ингибитором 5-енолпирувилшикимат-3-фосфат (EPSP) синтетазы, относящейся к ключевым ферментам шикиматного пути метаболизма растений. Глифосат в низких

дозах за счет стимуляции роста при гормезисе может повышать урожайность пшеницы.

Активация роста за счет гормезиса выявлена и для некоторых других гербицидов, имеющих иной механизм токсического действия, по сравнению с глифосатом, например, для ингибитора синтеза ауксинов – PCIB (2-(p-chlorophenoxy)-2-methylpropionic acid), фосфинотрицина – ингибитора глутаминсинтетазы, являющейся ключевым ферментом азотного метаболизма растений, ацифлуорфена – ингибитора фотосинтетического транспорта электронов и разобщителя окислительного фосфорилирования, метсульфурон-метила – ингибитора фермента ацетолактатсинтазы, который участвует в биосинтезе незаменимых аминокислот: изолейцина, лейцина, валина, диквата – контактного гербицида неизбирательного действия, разрушающего мембрану, мезотриона – ингибитора биосинтеза каротиноидов.

Показано, что загрязнение почвы антибиотиками, в частности тетрациклином и сульфаниламидами, широко используемыми в животноводстве, также может приводить к явлению гормезиса у растений. При этом антибиотики вызывают гормезис в отношении линейных размеров одних органов (длина листа) и оказывают только токсическое действие в других органах (уменьшение линейных размеров корневой системы и семядолей).

Среди неорганических поллютантов, имеются данные о горметическом эффекте в отношении растений для некоторых тяжелых металлов, таких как кадмий, медь, свинец, цинк, лантан.

Установлено, что способность химических загрязнителей вызвать гормезис у растений зависит от их сочетания с абиотическими факторами окружающей среды. Так, например, низкие дозы гербицида глифосата вызывали горметический ответ у растений только при оптимальных значениях абиотических факторов среды (освещенности, температуры, содержания минеральных питательных веществ в почве) и оказывали только токсическое действие при отклонении условий среды от оптимума.

Необходимо упомянуть, что не только абиотические и антропогенные факторы среды способны вызывать гормезис у растений. Отдельными авторами продемонстрировано данное явление для биотических отношений между разными видами растений, которые опосредованы выделением химических веществ, в частности, для аллелопатии. Так, показано, что колины, выделяемые растениями для подавления жизнедеятельности конкурирующих видов растений, в некоторых дозах могут, напротив, стимулировать рост и развитие конкурента.

Установлено, что смеси поллютантов также могут вызывать гормезис. Например, продемонстрировано горметическое действие на линейные размеры растений смесей из двух компонентов – для гербицидов, а также для различных колинов растений, выделяемых при аллелопатии.

Работы, посвященные парадоксальным эффектам у растений, весьма многочисленны. Исследования данной проблемы у растений преимущественно

относятся к 50–70-е гг. прошлого века или к еще более раннему периоду (Завадская, Антропова, 1979). В настоящее время парадоксальные эффекты у биосистем преимущественно изучаются в области фармакологии и биомедицины у различных видов млекопитающих, используемых в качестве лабораторных животных, а также у человека (Smith et al., 2012). Продемонстрирована способность различных физических и химических факторов вызывать парадоксальные эффекты у растений, на уровне организма, отдельных органов и клеток (Завадская, Антропова, 1979; Булатов и др., 2002). Среди физических факторов среды подобный эффект выявлен для высоких температур (Завадская, Антропова, 1979) и гамма-излучения. Среди химических загрязнителей окружающей среды имеются данные о способности тяжелых металлов (Cu, V, Cr, Mn, Zn), а также малых доз нефти инициировать данное явление у различных видов растений. Химические вещества эндогенного происхождения, такие как, флавоновые пигменты, гибберелловая кислота также могут приводить к парадоксальным эффектам у растений. Необходимо отметить, что концепция широкого распространения гормезиса и парадоксальных эффектов у биосистем, получившая признание в последние годы в области токсикологии, до сих пор остается мало известной среди исследователей, работающих в области экологии и физиологии растений. Поэтому достаточно часто исследователи, сталкивающиеся с парадоксальными эффектами и гормезисом у растений при действии различных факторов, не используют данные термины.

Таким образом, способность различных абиотических, антропогенных и биотических факторов среды вызывать немонотонные ответы у растений, указывает на универсальность и неспецифичность гормезиса и парадоксальных эффектов. Тезис о том, что гормезис относится к общебиологическим явлениям, выдвинут рядом авторов (Calabrese, 2008), подобные же представления высказывались и в отношении парадоксальных эффектов.

Следует указать, что в настоящее время практически неизученным остается вопрос о связи между гормезисом и парадоксальными эффектами особенно у растений. Могут ли данные явления наблюдаться в пределах одной зависимости доза-эффект? Лежат ли в основе этих феноменов общие закономерности и механизмы? При изолированном хроническом воздействии некоторых поллютантов (формальдегида, хлорида натрия) на содержание каротиноидов и интенсивность перекисного окисления липидов в листе проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.), а также при действии автотранспортного загрязнения в условиях города на уровень липопероксидации в листе березы повислой (*Betula pendula* Roth) нами были получены данные о том, что гормезис и парадоксальные эффекты изученных показателей растений могут наблюдаться в пределах одной зависимости доза-эффект (Ерофеева, 2017), что указывает на связь между данными феноменами.

В настоящее время механизмы и закономерности, лежащие в основе немонотонных ответов биосистем, особенно у растений, остаются неизвестными, в связи с этим существует достаточно большое количество различных гипотез.

В частности, показано, что у животных во время разных фаз гормезиса действующий агент может влиять на различные типы (субтипы) клеточных рецепторов или разные сигнальные пути клетки, что и приводит (как полагают) к возникновению двухфазной горметической зависимости (Подколзин, Гуревич, 2002).

Предполагают, что развитие парадоксальных эффектов при действии химических веществ может быть связано с разной проницаемостью клеточной мембраны для различных концентраций агента, либо образованием комплексов разной токсичности при действии различных доз ингибиторов.

Предлагаемые гипотезы рассматривают механизм развития немонотонных ответов биосистем только на молекулярном и клеточном уровнях. В то же время общепризнано, что гормезис и парадоксальные эффекты имеют адаптивный характер (Calabrese, 2008). Так, например, стимулирующий эффект в первую фазу гормезиса предлагают рассматривать как явление сверхкомпенсации, то есть избыточной активации защитных систем организма (Calabrese, 2008). Данное положение подтверждается результатами ряда экспериментальных исследований. Так, например, показано, что активация роста растений при гормезисе, вызванная свинцом, сопровождается увеличением активности ферментов антиоксидантной системы (аскорбатпероксидазы, супероксиддисмутазы), а также повышением содержания белков теплового шока. Организм представляет собой единую систему, в том числе и у растений, не имеющих столь жесткой интеграции подсистем организма, как животные. В связи с этим мы полагаем, что для понимания общих принципов и закономерностей возникновения немонотонных зависимостей доза-эффект необходимо рассматривать эти явления на уровне целого организма аналогично тому, как это было сделано в свое время в отношении стрессовой реакции организма Г. Селье. В свою очередь, если рассматривать немонотонные ответы биосистем как результат неспецифической адаптивной реакции на уровне организма, то возникает вопрос: как же соотносятся гормезис и парадоксальные эффекты с теорией стресса? В настоящее время, не смотря на значительный интерес к немонотонным ответам биосистем, этот вопрос остается малоизученным. Предполагают, что стимулирующая фаза гормезиса может вызываться слабыми и умеренными стрессирующими воздействиями (Calabrese, 2008). Еще Г. Селье было отмечено, что разные по силе стресс-факторы могут вызвать разные варианты стресса. По Г. Селье умеренные стресс-факторы оказывают положительное влияние на организм и вызывают эустресс, характеризующийся увеличением резистентности организма без признаков его повреждения. Сильные стрессирующие воздействия приводят к развитию дистресса, при котором увеличение резистентности организма происходит за счет нарушения функционирования и строения систем, не участвующих в процессе адаптации к действию стрессового фактора.

Нами также была предложена гипотеза, объясняющая механизм развития гормезиса и парадоксальных эффектов как взаимосвязанных явлений и показывающая связь немонотонных ответов биосистем с явлением стресса (Ерофеева,

2017) (рис. 1.4). Еще в 70-е годы прошлого века Гаркави Л.Х. с соавторами при увеличении силы воздействия различных физических и химических факторов на млекопитающих было продемонстрировано существование множества адаптационных уровней функционирования организма (уровней реактивности по Гаркави Л.Х.), обусловленное постепенным вовлечением защитных механизмов в процесс фенотипической адаптации. На каждом уровне наблюдается триада неспецифических защитных реакций – тренировка, активация и стресс, которые развиваются соответственно в ответ на слабые, средние и сильные (на пределе переносимости) для данного уровня интенсивности действующего фактора (Гаркави и др., 1990). Стресс вызывает вовлечение в процесс фенотипической адаптации дополнительных защитных механизмов, что приводит к переходу на следующий уровень с большими адаптивными возможностями, на котором вновь повторяется триада тренировка, активация, стресс и так далее. Тренировка и активация возникают в ответ на умеренные для данного уровня воздействия и являются различными вариантами нормы, поэтому, в отличие от стресса, они характеризуются увеличением активности защитных систем без признаков повреждения организма, что вызывает нормализацию параметров организма или даже их улучшение по сравнению с контролем (явление сверхкомпенсации) (Гаркави и др., 1990; Calabrese et al., 2008).

Мы полагаем, что поскольку с каждым новым уровнем затраты энергетических и пластических ресурсов на фенотипическую адаптацию возрастают, то вследствие дефицита ресурсов организма происходят нарушения в работе систем непосредственно не участвующих в адаптационных процессах (или неактуальных для выживания популяции в данный момент). В результате этого изменение параметров организма непосредственно, связанных с фенотипической адаптацией должно иметь колебательный характер при переходе организма с одного функционирования уровня на другой и развитии на каждом уровне тренировки и активации (параметры не отличаются от контроля или лучше чем в контроле вследствие сверхкомпенсации), а также стресса (нарушение параметров). При этом показатели систем, на которых организм «экономит» ресурсы монотонно ухудшаются. При полном истощении адаптационных возможностей организма наблюдается значительное монотонное ухудшение многих параметров, приводящее к гибели (рис. 1.4). Исходя из выше изложенного, парадоксальные эффекты и гормезис следует рассматривать как различные участки одной колебательной зависимости параметров состояния растения от интенсивности антропогенной нагрузки. Если исследователь сталкивается с участком колебательной кривой, где реакция активации сменяется стрессом, то он выявит двухфазную горметическую зависимость. Все прочие варианты участков колебательной кривой будут интерпретироваться исследователем как разнообразные парадоксальные эффекты. В итоге парадоксальные эффекты будут выявляться значительно чаще, чем гормезис.

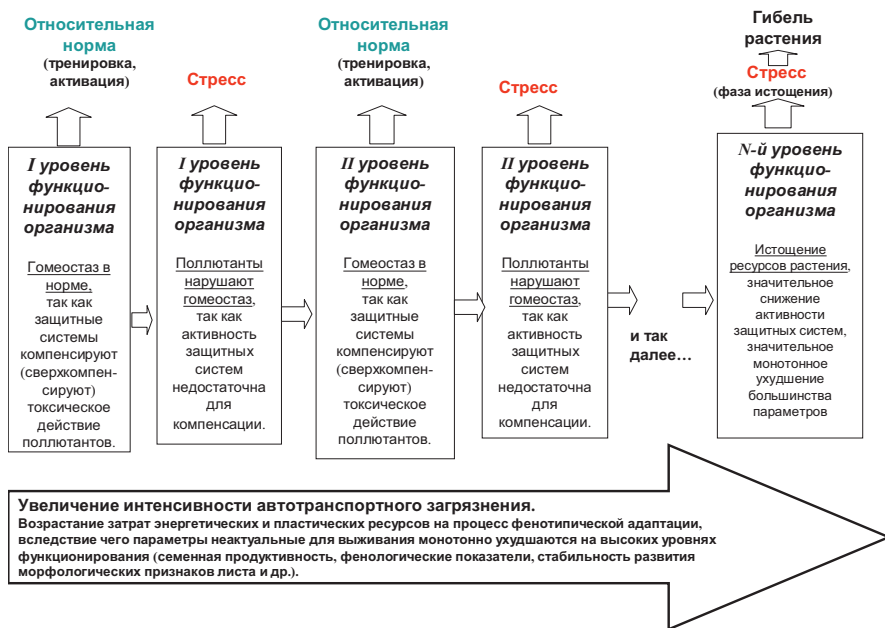


Рис. 1.4. Схема предлагаемого механизма немонотонного изменения состояния растения при возрастании интенсивности антропогенной нагрузки (Ерофеева, 2017)

К сожалению, в экологии проблеме гормезиса и парадоксальных эффектов при действии различных факторов среды на растения, в том числе и антропогенных, уделяется крайне мало внимания, не смотря на значительные достижения в изучении данных феноменов у животных в области радиобиологии, токсикологии и фармакологии, признания немонотонных ответов биосистем в качестве общепризнанного широко распространенного явления, а также чрезвычайной важностью этих феноменов для теоретической и прикладных аспектов экологических исследований. Так, например, до сих пор в фитоиндикации при выборе параметров организма растений пригодных для оценки уровня загрязнения окружающей среды не учитывается возможность возникновения немонотонных зависимостей доза-эффект, что может привести к неадекватной оценке качества окружающей среды.

1.2. НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ЯВЛЕНИЯ ГОРМЕЗИСА И ПАРАДОКСАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ У РАСТЕНИЙ

До сих пор при выборе биоиндикационных показателей исследователи не рассматривали возможность развития у различных физиолого-биохимических и эколого-морфологических параметров растений гормезиса и парадоксальных эффектов. Однако без учета этих явлений резко повышается вероятность неадекватной оценки уровня антропогенной нагрузки при проведении биоиндикации. Например, если в случае парадоксального эффекта при высоком уровне загрязнения биоиндикационный показатель будет соответствовать норме, а при низком уровне – значительно отклоняться от нее.

В результате многолетних исследований нами было установлено (Ерофеева, 2017), что изученные нами биоиндикационные показатели растений (интенсивность перекисного окисления в листе, содержание хлорофиллов и каротиноидов в листе, флуктуирующая асимметрия листа, показатели фенологических ритмов и семенного размножения) как у древесных (*Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill.), так и у травянистых (*Taraxacum officinale* Wigg.) достаточно часто изменялись немонотонно при возрастании уровня автотранспортного загрязнения. По данным многолетних наблюдений среди выявленных зависимостей биоиндикационных показателей от уровня автотранспортного загрязнения немонотонные ответы (гормезис и парадоксальные эффекты) составляли 50% у *B. pendula*, 63% у *T. cordata*, 70% у *T. officinale*. Среди немонотонных ответов значительно преобладали парадоксальные эффекты (*B. pendula* – 88%; *T. cordata* – 75%; *T. officinale* – 100%).

На основе данных исследований нами были предложены новые подходы к выбору биоиндикационных показателей у растений, учитывающие концепцию гормезиса и парадоксальных эффектов (Ерофеева, 2017):

1) В биоиндикации следует использовать показатели состояния растений, обладающие монотонными зависимостями от интенсивности антропогенной нагрузки в широком диапазоне ее значений (ширина изученного диапазона нагрузки должна составлять более одного порядка).

2) Для выявления таких показателей необходимо проведение многолетних исследований зависимости их величины от интенсивности данного вида антропогенной нагрузки в широком диапазоне значений. Для изучения данной зависимости следует использовать не менее 10 различных градаций нагрузки (участков с разным уровнем нагрузки), при этом надо стремиться, насколько это возможно, к равномерному распределению градаций нагрузки в пределах изучаемого диапазона.

3) Поиск биоиндикационных показателей следует вести среди параметров растительного организма, которые непосредственно не участвуют в процессе фенотипической адаптации и поэтому растение «экономит» на них ресурсы. У

таких параметров следует ожидать монотонные зависимости от интенсивности антропогенной нагрузки. Так, например, нами были получены различные варианты парадоксальных эффектов для зависимостей различных биохимических показателей (интенсивности перекисного окисления липидов, содержания хлорофиллов и каротиноидов) листа древесных растений (*B. pendula*, *T. cordata*) от уровня автотранспортного загрязнения. В то же время семенная продуктивность этих видов монотонно ухудшалась при возрастании интенсивности химического загрязнения.

4) поиск фитоиндикационных показателей следует вести у видов растений, для которых максимальный испытываемый ими уровень антропогенной нагрузки близок к границам диапазона толерантности, так как вследствие дефицита ресурсов растения у показателей, не являющихся жизненно важными для выживания, может наблюдаться монотонное ухудшение их значения.

5) поскольку отклонение параметров растения от контрольного значения при гормезисе и парадоксальных эффектах в большинстве случаев имеет умеренный характер (10-60% от величины контроля), то для выявления немонотонных ответов следует использовать объемы выборок, при которых чувствительность используемого статистического критерия будет достаточна для выявления указанных различий при уровне значимости $p < 0.05$.

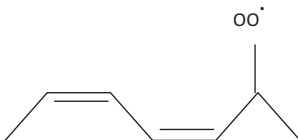
6) следует учитывать, что диапазон толерантности у разных видов растений к данному типу антропогенной нагрузки может различаться, поэтому параметр, являющийся биоиндикационным у одного вида (то есть имеющий монотонную зависимость доза-эффект), может давать неадекватную оценку качества среды в результате возникновения гормезиса и парадоксальных эффектов у другого вида растений.

1.3. ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ У РАСТЕНИЙ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТРЕССОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РАЗВИТИИ ГОРМЕЗИСА И ПАРАДОКСАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

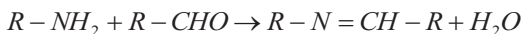
При изучении возможности развития немонотонных изменений у показателей растений, которые потенциально могут использоваться для целей биоиндикации, может быть полезно оценить вызывает ли данный уровень антропогенной нагрузки состояние стресса у растения. В качестве индикатора стрессового состояния у растений и животных, в том числе и при хроническом воздействии антропогенных факторов среды можно использовать интенсивность перекисного окисления липидов. В связи с этим мы кратко опишем данный процесс и рассмотрим наиболее часто используемые методики оценки его интенсивности.

Перекисное окисление липидов (ПОЛ) – свободнорадикальное окисление полиненасыщенных жирных кислот в биологических системах. Это цепной процесс, инициируемый свободными радикалами (в основном O_2^- и $HO^\bullet$) и самоподдерживающийся за счет возникновения свободных радикалов в каждой новой его реакции. ПОЛ преимущественно протекает в мембранах клетки, у растений преимущественно в митохондриях и хлоропластах. Данный процесс контролируется антиоксидантной системой клетки, так как при бесконтрольном течении может привести к нарушению полупроницаемости мембран и гибели клетки (Полесская, 2007).

ПОЛ приводит к образованию в клетке целого ряда веществ при деградации липидов мембран. Первичный продукт ПОЛ – гидроперекиси. На первых стадиях метаболической цепи 92-98% всех продуктов окисления составляют гидроперекиси ($ROOH$), образованию которых предшествует появление гидроперекисного радикала $ROO^\bullet$. Этот радикал образуется в акте одноэлектронного восстановления, что сопровождается появлением системы сопряженных двойных связей:



Молекулы с двумя сопряженными связями называются диеновыми конъюгатами. Может образоваться и три сопряженные двойные связи, тогда возникают триеновые конъюгаты. Гидроперекиси нестойки и распадаются с образованием вторичных продуктов ПОЛ: альдегидов, кетонов, спиртов, эпоксидов. Среди них наиболее известен малоновый диальдегид, который используется для оценки интенсивности ПОЛ ($ONC-CH_2-CHO$). Альдегиды и кетоны могут взаимодействовать с первичными аминогруппами липидов и белков с образованием конечных продуктов ПОЛ – оснований Шиффа, для которых характерно наличие фрагмента $-N=C-$.



Основания Шиффа – весьма реакционноспособные соединения, приводящие к полимеризации и поликонденсации молекул, межмолекулярным сшивкам (Камышников, 2002).

К настоящему времени накоплен огромный фактический материал, позволяющий заключить, что усиление свободнорадикальных процессов и перекисного окисления липидов является одной из универсальных клеточных реакций на воздействие различных по своей природе стрессовых факторов как у животных, так и у растений. Кроме того, в последнее время накаплива-

ются все больше данных показывающих, что увеличение интенсивности ПОЛ и свободнорадикальных процессов при стрессе является не только следствием нарушения антиоксидантно-прооксидантного гомеостаза, а представляет собой важный компонент фенотипической адаптации. Показано, что некоторые АФК ($^1\text{O}_2$; O_2^- , H_2O_2) и продукты ПОЛ (малоновый диальдегид, 4-гидрокси-2-ноненаль) являются сигнальными молекулами, в том числе и при развитии стрессовой реакции у растений (Полесская, 2007). В частности выявлена способность малонового диальдегида регулировать экспрессию генов. Малоновый диальдегид широко используется в качестве биомаркера интенсивности ПОЛ у растений и животных. Повышенный уровень ПОЛ наблюдается и при действии антропогенных стресс-факторов на растительные объекты. Далее мы приводим описание методик оценки некоторых продуктов ПОЛ у растений.

Интенсивность перекисного окисления липидов определяют методом абсорбционной спектрофотометрии чаще всего по содержанию ТБК-активных продуктов ПОЛ, среди которых наиболее массовым является малоновый диальдегид (МДА), а также по уровню диеновых конъюгатов и оснований Шиффа.

МДА. Методика (Heath, Packer, 1968; Камышников, 2002) основана на образовании окрашенного триметинового комплекса с максимумом поглощения 532 нм при взаимодействии МДА с тиобарбитуровой кислотой (ТБК). Фрагменты 30-35 листовых пластинок одного дерева (1 г) объединяют и гомогенизируют в 8 мл 3 мМ раствора трилона Б в фарфоровой ступке замороженной в лед. Гомогенат фильтруют через ткань в пробирку со стеклянной воронкой. В стеклянные пробирки (объемом 20 мл) вносят 2 мл отфильтрованного гомогената, 2 мл 20% трихлоруксусной кислоты и 2 мл 0.75% 2-тиобарбитуровой кислоты. Пробирки инкубируют в водяной бане при +96-100 °С в течение 30 мин и охлаждают. Далее переливают содержимое из стеклянных пробирок в центрифужные пробирки и центрифугируют при 6 000 – 8 000 г в течение 15 мин. Измеряют оптическую плотность супернатанта при 532 и 600 нм на спектрофотометре против контрольной кюветы, содержащей все реагенты, за исключением биологического материала. Концентрацию МДА в растворе (мМ) рассчитывают по формуле:

$$C(\text{МДА}) = (D_{532} - D_{600})/155$$
, где 155 – коэффициент молярной экстинкции триметинового комплекса ($\text{мМ}^{-1}\text{см}^{-1}$). Затем рассчитывают содержание МДА в нМ/г сырой массы листа.

Диеновые конъюгаты и основания Шиффа. Диеновые конъюгаты определяют по методике Стальной И.Д. (1977), а основания Шиффа – по методике Волчегорского И.А. и соавторов (1989). Фрагменты 30-35 листовых пластинок одного дерева (1 г) объединяют и гомогенизируют в 8 мл 3 мМ раствора трилона Б в фарфоровой ступке замороженной в лед. Гомогенат фильтруют через ткань в пробирку со стеклянной воронкой. В центрифужные пробирки (объ-

ем – 4 мл) с крышками вносят 0.5 мл гомогената, 1.5 гептана и 1.5 мл изопропилового спирта, закрывают крышку и интенсивно встряхивают. Оставляют на 30 мин для экстракции продуктов ПОЛ в гептановую фазу, интенсивно встряхивая каждые 10 мин. Пробирки центрифугируют при 6 000 – 8 000 g в течение 15 мин. Далее отбирают 0.5 мл верхней гептановой фазы в кювету спектрофотометра и добавляют 2.5 мл 96% этанола (1:5). Встряхивают и измеряют оптическую плотность при 232 нм для диеновых конъюгатов и при 400 нм для оснований Шиффа на спектрофотометре против контрольной кюветы, содержащей все реагенты, за исключение биологического материала. Содержание диеновых конъюгатов и оснований Шиффа выражают в относительных единицах оптической плотности.

Литература

1. Батян А.Н., Фрумин Г.Т., Базылев В.Н. Основы общей и экологической токсикологии. – СПб.: СпецЛит., 2009. – 352 с.
2. Булатов В.В., Хахаев Т.Х., Дикий В.В., Заонегин С.В., Бабин В.Н. Проблема малых и сверхмалых доз в токсикологии. Фундаментальные и прикладные аспекты // Российский химический журнал. – 2002. – Т.XLVI. №6. – С. 58–62.
3. Волчегорский И.А., Налимов А.Г., Яровинский Б.Г., Лифшиц Р.И. Сопоставление различных подходов к определению продуктов перекисного окисления липидов в гептан-изопропанольных экстрактах крови // Вопросы медицинской химии. – 1989. Т. 35. – № 1. С. 127–131.
4. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. – Ростов-на-Дону: Из-во Ростовского ун-та, 1990. – 375 с.
5. Ерофеева Е.А. Гормезис и парадоксальные эффекты у растений в условиях автотранспортного загрязнения и при действии поллютантов в эксперименте: Дисс. ... докт. биол. наук. Нижний Новгород, 2017. – 184 с.
6. Завадская И.Г., Антропова Т.А. О «парадоксальном» эффекте при действии высоких температур на листья некоторых высших растений // Цитология. – 1979. Т.XXI. №1. – С. 46–56.
7. Камышников В.С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике. – Мн.: Беларусь, 2002. – Т.2. – 495 с.
8. Подколзин А.А., Гуревич К.Г. Действие биологически активных веществ в малых дозах. М.: Т-во науч. изд. – КМК, 2002. – 170 с.
9. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. – М.: КДУ, 2007. – 140 с.
10. Стальная И.Д. Метод определения диеновой конъюгации ненасыщенных кислот // Современные методы в биохимии. – М.: Медицина, 1977. – С. 63–64.

11. Calabrese E.J. Hormesis: why it is important to toxicology and toxicologists // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2008. V. 27. N7. P. 1451–1474.
12. Calabrese E.J., Blain R.B. Hormesis and plant biology // *Environmental Pollution*. 2009. V. 157. P. 42–48.
13. Heath R.L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts 1. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // *Arch. Biochem. Biophys.* 1968. V.125. P.189–198.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ЦЕНОТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ

Активность выступает как наиболее общая и всеохватывающая характеристика живых организмов и биосистем, отражая всю динамику целеустремленной борьбы за существование посредством целесообразных механизмов (Бернштейн, 1966; Савинов, Никитин, 2017). В том числе важнейшие продуценты биосферы – растения активно взаимодействуют в экосистемах с многочисленными внешними биотическими и абиотическими факторами, обмениваясь веществами, энергией и информацией с окружающей средой (Grime, Pierce, 2012; Савинов, 2012; Савинов, Никитин, 2017).

Однако исторически так сложилось, что активность видов растений понимается по-разному и потому в настоящее изучается на основе независимо возникших подходов; их можно условно подразделить на статусный, эргонтический и ценотипический (Савинов, Никитин, 2017).

2.1. СТАТУСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ

Основоположник статусного подхода Б.А. Юрцев (1966, с. 5) предложил активными видами растений считать «преуспевающий элемент флоры, противостоящий реликтовым ее элементам»; при этом Б.А. Юрцев полагал, что «эколого-биологические свойства активных видов соответствуют общей ландшафтно-климатической обстановке данной территории, и это находит свое выражение в повышенной численности таких видов, значительной широте их экологической амплитуды, более равномерном распределении их по территории, – то есть в более интенсивном освоении этими видами данного ландшафта». Впоследствии Б.А. Юрцев (1968) увеличил число критериев активных видов и конкретизировал высказанные положения. В частности, исследуя фитоценозы высокогорий северо-востока Сибири (Юрцев, 1968), он учитывал, что активность вида в пределах ландшафта тем выше, во-первых, чем больше экологическая амплитуда вида (т.е. чем больше разнообразие заселенных им экотопов); во-вторых, чем равномернее вид распределен по территории и, в-третьих, чем выше общий уровень численности вида в занимаемых им экотопах. На основании соотношений этих показателей Б. А. Юрцев в фитоценозах выделял 5 ступеней активности видов растений: 1) особо активные (I ступень активности), 2) высокоактивные (II ступень), 3) среднеактивные (III ступень), 4) малоактивные (IV ступень), 5) неактивные (V ступень). Но поскольку у видов одной и той же ступени активности соотношение широты экологической амплитуды, равномерности распределения по территории и уровня численности может быть неодинаковым, то виды каждой ступени в свою очередь были подразделены на подгруппы (табл. 2.1). Наряду с этими

критериями Б.А. Юрцев (1968) предлагал по возможности определять дополнительные важные характеристики активности вида: его жизненность в основных экотопах, фенотипический (в том числе возрастной) и генотипический составы ценопопуляций; но полагал, что эти характеристики можно оценить только при длительных стационарных исследованиях.

Таблица 2.1

Критерии выделения ступеней (степеней) активности видов растений
(по Юрцеву, 1968)

Группы видов по характерному для них уровню численности	Виды									
	ЭТ		ГЭТ		ГСТ		Стенотопные			
							Обычных экотопов		Редких экотопов	
	ПМ	СП	ПМ	СП	ПМ	СП	П	М	П	М
Массовые	1а	1б	2а	3б	3а	4а	3б	4б	4в	5а
Малочисленные	2в	2г	3в	3г	3д	4г	3е	5б	5в	5г
Единично встречающиеся	3ж	4д	4е	5д	4ж	5е	4з	5ж	5з	5и

Примечание: ЭТ – эвритопные, ГЭТ – гемизвритопные, ГСТ – гемистенотопные, ПМ – повсеместные, СП – спорадические, П – постоянные, М – малопостоянные, 1 – особо активные, 2 – высокоактивные, 3 – среднеактивные, 4 – малоактивные, 5 – неактивные

В отношении растений наземных экосистем в настоящее время используются различные модификации метода Б.А. Юрцева в форме степенных (балльных) измерений внутриландшафтной (парциальной) активности видов (Налимова, 2006; Чепинога, Росбах, 2008). Одна из модификаций метода представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Количественные критерии степеней активности видов растений
(по Налимовой, 2006, с коррекциями)

Степени активности	Показатели активности, в долях		
	Амплитуда экологического пространства	Встречаемость	Обилие
Высокая (1)	>0.4	>0.4	0.3–1.0
Средняя (2)	0.2–0.4	0.2–0.4	0.04
Низкая (3)	0.1–0.2	0.1–0.2	0.03
Очень низкая (4)	<0.1	<0.1	0.01

С помощью этой и аналогичных методик были получены данные, показывающие сходство в соотношении долей активных и неактивных видов растений для фитоценозов разных типов наземных и водных экосистем (Свириденко, 2000; Налимова, 2006). В частности, в луговых фитоценозах заповедника «Присурский» (Чувашская Республика) 68.2 % – 97.1% видов растений характеризовались низкой активностью, из них до 60 % видов – очень низкой активностью; средней активностью обладали 2.9 % – 31.8 % видов и только 6 % – высокой активностью (Налимова, 2006).

Наряду с расширением спектра показателей активности видов растений на базе методологии Б.А. Юрцева предлагались и упрощенные методики. Например, Л.И.Малышев (1973) считал, что для оценки активности (А) вида растения достаточно интегрального выражения лишь его встречаемости (F) и обилия (D):

$$A = (F \cdot D)^{1/2} \quad (2.1)$$

Б.Ф. Свириденко (2000) парциальную активность (ПА) в отношении видов гидромакрофитов также по существу рассматривает как функцию двух переменных величин – встречаемости и обилия в пределах одного класса экотопов и определяет активность так:

$$ПА = (ПП / 100 \%) \cdot (B / 100 \%) \quad (2.2)$$

где ПП – среднее проективное покрытие вида в популяциях (в %), B – экологическая встречаемость популяций (%). При этом максимальная величина парциальной активности может быть равна 1 (при ПП = 100 %, B = 100 %), но её реальные значения всегда ниже.

По предложению Б.Ф. Свириденко (2000), виды растений, у которых $ПА < 0.01$ следует считать неактивными, с величинами $ПА > 0.01$ – активными с подразделением на высокоактивные ($ПА > 0.10$), среднеактивные ($0.05 < ПА < 0.10$) и низкоактивные ($0.01 < ПА < 0.05$) виды. В соответствии с этой методикой, например, в водоемах Северного Казахстана высокоактивными ($ПА > 0.10$) являются виды-убиквисты: *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. ($ПА = 0.46–0.54$), *Potamogeton pectinatus* L. ($ПА = 0.18–0.35$), *Typha angustifolia* L. ($ПА = 0.15–0.20$); низкоактивными ($0.01 < ПА < 0.05$) – *Potamogeton pusillus* L. ($ПА = 0.01–0.04$), *Eleocharis palustris* (L.) R. Br ($ПА = 0.01–0.04$); неактивными ($ПА < 0.01$) – *Chara kirghisorum* Lessing emend. Hollerbach (вид редкий и типичный олиготрофный, олигосапробный представитель), *Elodea canadensis* Michx. (инвазионный вид, но еще относительно слабо распространившийся по водоемам Казахстана); при этом доля активных видов в экосистемах невелика – 18–28 % (Свириденко, 2000).

Проводятся методологически сходные исследования прикладного характера (но не связанные с теорией Б.А. Юрцева) в отношении ценотической активности кормовых трав в агроэкосистемах (Минвалиев, Павлова, 2015). В частности, изучаются конкурентные взаимоотношения (ценотическая активность) злаковых и бобовых трав в составе различных травосмесей и при разных уровнях минерального питания (с целью разработки технологий повышения

урожайности травосмесей и качества их биомассы). При этом установлено, что ценотическая активность изучаемых видов многолетних злаковых и бобовых трав (доля каждого вида в составе агрофитоценозов) нестабильна и зависит от влияния многих экологических факторов: 1) фона минерального питания, 2) стадии вегетации, 3) видового состава травосмесей, 4) климатических условий года, 5) долголетия, темпа развития и отавности компонентов травосмеси (Минвалиев, Павлова, 2015).

Ко всем рассмотренным работам (с термином «активность») примыкают исследования неоднородности растительного покрова (Лебедева и др., 2016), не основанных на концепции статусного подхода, но методологически близких к нему. В данном случае изучается многолетняя динамика видовой неоднородности (квантованности) фитоценозов с использованием коэффициента участия вида (КУ). Этот коэффициент определяется либо по массе вида в процентах от общей массы растений на учетной площади, либо по доле проективного покрытия вида ($ПП_{\text{вида}}$) в общем проективном покрытии видов ($ПП_{\text{видов}}$) фитоценоза:

$$КУ = (ПП_{\text{вида}} / \sum ПП_{\text{видов}}) \cdot 100 \% \quad (2.3)$$

Исследования с вычислением коэффициента участия (КУ) показали, что в одних фитоценозах сохраняется многолетнее доминирование некоторых видов растений на фоне большинства слабо представленных видов; в других же сообществах в отдельные годы или под влиянием микрорельефной неоднородности виды-доминанты значительно снижают КУ (Лебедева и др., 2016).

2.2. ЭРГОНТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ

Этот подход основан на предложенном нами определении: активность материальной системы, в том числе живой, есть характер и интенсивность ее взаимодействия с окружающей средой (т.е. с другими системами) в единицу времени, и чем сильнее и разнообразнее взаимодействует система с окружающей средой (другими системами), тем она активнее (Савинов, Никитин, 2017). В отношении адаптирующихся, живых систем, это взаимодействие, т.е. активность (А), по существу отражает скорость аккумуляции или генерирования вещества, энергии и информации адаптирующейся системой, например, биосистемой организменного, популяционного или биоценотического уровней (Савинов, Никитин, 2017):

$$A = M / t \quad (2.4)$$

$$A = Q / t \quad (2.5)$$

$$A = H / t \quad (2.6)$$

где М – масса потребленного и/или синтезированного вещества (г), Q – количество потребленной и/или выделенной энергии (Дж), Н – количество информации (бит), экзогенно полученное или эндогенно созданное биосистемой (ее структурно-функциональным матриксом) за единицу времени t (например, в секунду).

Важно отметить, что еще в конце XX века создателем физиологии активности Н.А. Бернштейном (1966, с. 329) были сформированы представления о том, что активность живого организма – это «вся динамика целеустремленной борьбы посредством целесообразных механизмов» и что «активность выступает как наиболее общая всеохватывающая характеристика живых организмов и систем».

Отождествление активности организма с его борьбой за жизнь (за существование), предпринимаемое нами вслед за Н.А. Бернштейном (1966), представляется не только справедливым, но и необходимым, в том числе и в терминологическом отношении. Термин «активность» позволяет снять некий налёт односторонности, привнесенный термином «борьба», акцентирующим внимание больше на антагонизме взаимоотношений живых организмов со средой обитания (в широком смысле). Это обстоятельство заботило и Ч. Дарвина, который в «Происхождении видов» указывал следующее: во-первых, именно в метафорическом смысле под борьбой за жизнь он понимает совокупность бесконечных и разнообразнейших отношений, непрерывно возникающих между данным живым организмом и всей остальной биотической и абиотической природой; во-вторых, указанная борьба обуславливает естественный отбор, в общем виде выражающийся в выживании и распространении в природе наиболее успешных в борьбе организмов, т.е. таких, у которых на разных уровнях их организации (морфолого-анатомическом, физиологическом, поведенческом и др.) адекватнее сложились отношения с окружающей средой.

В физиологическом и экологическом аспектах жизнедеятельность растений традиционно характеризуется скоростью аккумуляции или продукции вещества или энергии. Таковыми «скоростными» показателями являются, например, 1) интенсивность фотосинтеза, выражаемая в мг поглощенного CO_2 , отнесенного к единице площади (дм^2) листьев растения в единицу времени (мин, час); 2) продуктивность растений, определяемая количеством произведенного ими вещества (энергии) на единицу площади листьев в единицу времени ($\text{г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{сутки}$). Очевидно, эти и подобные показатели характеризуют активность растений, однако в силу специфики они не будут сопоставимы с характеристиками активности других членов биоценоза – консументов и редуцентов, что затруднит исследования экосистем в новом аспекте. Если же попытаться выражать активность, в частности, как скорость информационного взаимодействия биосистем с окружающей средой, то указанных выше ограничений не возникает и можно использовать универсальные единицы информации (бит, байт).

В предложенной формуле (2.6) величина H определяется известной формулой Шеннона, ей принято выражать количество информации, накопленное или генерируемое биосистемами организменного и надорганизменного уровней:

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i \quad (2.7)$$

В формуле (2.7) p_i есть частота какого-либо события; например, для исследований активности растений, мы использовали: а) частоту проявления (доли) в ценопопуляции дискретных фенотипических признаков – фенов, б) доли (частоты) химических элементов, аккумулярованных в растениях разных видов, в) частоты посещения насекомыми-опылителями видов энтомофильных растений. При перечисленных формализациях для растительных организмов будут определены разные формы (составляющие) активности: условно 1) морфогенетической активности (при использовании частот параметров фенотипической изменчивости), 2) аккумулятивной активности (например, на основе соотношения величин долей аккумуляции разных металлов), 3) консортивной (в частности, энтомофильной активности, при учете частот взаимодействия видов растений с видами антофильных насекомых) и т.п. При возможности определения нескольких подобных форм активности для одного и того же вида растения, эти формы можно интегрировать в показатель обобщенной активности (A_d) по формуле (Савинов, Никитин, 2017):

$$A_d = (A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n)^{1/n} \quad (2.8)$$

где $A_1, A_2 \dots A_n$ – величины разных форм активности биосистемы.

Очевидно, приоритет в определении той или иной формы активности будет обусловлен, например, задачами, объектами экологического исследования и возможностями исследователя.

Важно отметить, что, с одной стороны, известна взаимосвязь энергетических и массовых характеристик биосистем организменного и популяционного уровней. С другой стороны, потоки энергии через указанные системы, взаимосвязаны с потоками информации через них. Количество этой информации является мерой организованности систем: выше организованные системы содержат больше информации и наоборот. В свою очередь количество заключенной в системе информации адекватно разнообразию (неоднородности) элементов системы. Информационно значимые исследования фенотипического разнообразия на популяционном уровне актуальны и перспективны. Учитывая это, мы использовали формулу (2.6), выражающую скорость информационного взаимодействия биосистемы популяционного уровня со средой обитания (Савинов, Никитин, 2017).

2.2.1. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭРГОНТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Апробирование эргонтического подхода проведено нами с использованием формулы (2.6) на основе собственных и литературных данных.

Определение морфогенетической активности растений. Были использованы многолетние данные о частотах встречаемости (долях) фенов листьев в ценопопуляциях сныти *Aegopodium podagraria* L. и подорожника *Plantago major* L. из городских парковых зон, служащих полигонами для

наших регулярных биоиндикационных исследований (Савинов, Никитин, 2017). Указанные ценопопуляции произрастали в 4-х биотопах с разными уровнями токсической нагрузки на почвы, загрязняемые тяжелыми металлами (ТМ): свинцом, цинком, медью и хромом. В частности, для биотопов № 1–4 (табл. 2.3) токсическая нагрузка составляла 3.42; 2.16; 1.94; 1.00 (условный контроль) относительных единиц соответственно. Время от начала вегетации растений до сбора листьев для выявления их фенов (рис. 2.1) составляло 25–40 суток.

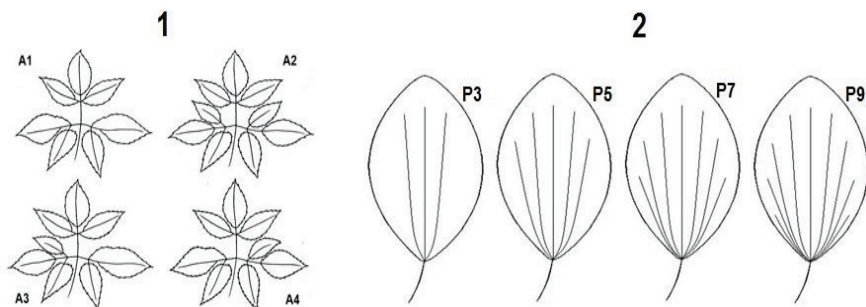


Рис. 2.1. Фены листьев сныти (1) и подорожника (2) (Савинов, Никитин, 2017)

По частотам встречаемости фенов листьев в ценопопуляциях сныти и подорожника (Савинов, Никитин, 2017) нами рассчитаны величины N ценопопуляций этих растений по формуле (2.7) для каждого сезона исследований. По величинам N и учетного времени вегетации с помощью формулы (2.6) были определены ежегодные величины морфогенетической активности растений и средняя величина этой активности за 5 сезонов исследований (Савинов, Никитин, 2017). Расчеты показали, что морфогенетическая активность сныти и подорожника в их ценопопуляциях уменьшается с повышением токсической нагрузки ТМ на почвы, и эти различия сохраняются в течение нескольких лет (табл. 2.3). Литературные данные показывают, что наличие в почве комплекса ТМ (Pb, Zn, Cu, Cd) в дозах 1–5 ПДК ухудшает биометрические параметры растений, площадь фотосинтезирующей поверхности и может многократно снижать первичную продукцию; вообще с усилением загрязнения почв ТМ тормозятся морфогенетические процессы и снижается жизнеспособность аборигенных видов растений.

Таблица 2.3

Динамика морфогенетической активности (10^{-7} бит/сек) ценопопуляций сныти и подорожника в биотопах по градиенту загрязнения ТМ (Савинов, Никитин, 2017)

Ценопопуляции / биотопы	Годы					Средняя активность за 5 сезонов
	2011	2012	2013	2014	2015	
1 (контроль)	<u>7,73</u>	<u>4,92</u>	<u>7,89</u>	<u>6,03</u>	<u>6,98</u>	<u>6,71±0,50</u>
	6,98	6,19	5,32	5,85	4,18	5,70±0,42
2	<u>6,90</u>	<u>2,87</u>	<u>7,11</u>	<u>5,68</u>	<u>5,97</u>	<u>5,71±0,68*</u>
	5,32	5,41	4,91	5,53	3,84	5,00±0,69*
3	<u>6,26</u>	<u>2,23</u>	<u>6,71</u>	<u>4,85</u>	<u>5,41</u>	<u>5,09±0,70**</u>
	4,33	4,74	4,17	4,72	3,07	4,21±0,68**
4	<u>5,13</u>	<u>2,15</u>	<u>5,90</u>	<u>4,91</u>	<u>5,13</u>	<u>4,64±0,58**</u>
	4,05	4,42	3,60	4,17	3,19	3,89±0,49**

Примечание: над чертой – величины активности ценопопуляций сныти, под чертой – то же для подорожника (пояснения в тексте); ** – $p < 0.01$, * – $p < 0.05$.

Определение аккумулятивной активности растений. В отечественной и зарубежной литературе имеются многочисленные данные о количестве (концентрациях) химических элементов, в частности металлов, накопленных различными видами растений за определенные периоды вегетации. Аккумуляционную активность видов мы определяли (Савинов, Никитин, 2017) на основе таких литературных данных о концентрациях металлов (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cr) в листьях споровых (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Lycopodium clavatum* L., *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), покрытосеменных растений (*Convallaria majalis* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Polygonum aviculare* L., *Plantago major* L., *Populus balsamifera* L., *Ulmus pumila* L., *Malus baccata* (L.) Borkh. и хвое *Pinus sylvestris* L., сформировавшихся за время их вегетации (до сбора растительного материала). По концентрациям металлов в листьях мы рассчитывали доли каждого элемента в их пуле для каждого вида растений. Данные о долях металлов позволили рассчитать величины H по формуле (2.7) для указанных видов растений. По величине H и времени, за которое были накоплены металлы, по формуле (2.6) определены величины аккумулятивной активности растений.

Наши расчеты показали, что в экосистемах минимальную аккумуляционную активность в отношении металлов проявляют вечнозеленые растения (*Pinus sylvestris*, *Vaccinium myrtillus*) – $0.08\text{--}0.11 \cdot 10^{-7}$ бит/сек, наибольшую – покрытосеменные с непродолжительным периодом вегетации (*Convallaria majalis*, *Polygonum aviculare*, *Plantago major*, *Populus balsamifera*, *Ulmus pumila*, *Malus baccata*) – $0.41\text{--}0.81 \cdot 10^{-7}$ бит/сек, а споровые (*Pleurozium schreberi*, *Lycopodium clavatum*, *Dryopteris filix-mas*, *Pteridium aquilinum*) занимают промежуточное положение – $0.28\text{--}0.61 \cdot 10^{-7}$ бит/сек (Савинов, Никитин, 2017).

Полученные данные согласуются с мнением Б.А. Юрцева (1966) о том, что вечнозеленость является архаичным признаком, эволюционным приспособлением, возникшим у предков вечнозеленых растений в связи с историческим развитием их в экосистемах с пониженными летними температурами и бедными почвами (с дефицитом элементов питания). Вечнозеленые растения (в отличие от летнезеленых) обладают пониженной интенсивностью многих физиологических процессов, малым приростом и длительностью функционирования осевых органов; поэтому развитие вечнозеленых растений в условиях дефицита элементов питания (нитратов, фосфатов, микроэлементов) происходит лишь благодаря активному симбиозу с микоризными грибами, обеспечивающими растения необходимыми минеральными соединениями (Юрцев, 1966).

Определение энтомофильной активности растений. Известно, что взаимодействие цветковых растений и антофильных насекомых обуславливает их коэволюцию, при этом для насекомых привлекательность цветков растений обусловлена многими их признаками: цветом, запахом, количеством нектара, морфологическими особенностями и др.

Для оценки энтомофильной активности нами были использованы литературные данные многочасовых учетов посещения антофильными насекомыми цветковых растений разных семейств. По долям (частотам встречаемости) особей каждого вида насекомых в учетах на 4 видах растений нами рассчитаны величины H для этих растений по формуле (2.7). По величинам H и времени пребывания насекомых на растениях с помощью формулы (2.6) были определены величины энтомофильной активности растений.

По нашим расчетам энтомофильная активность *Sisymbrium loeselii* L. (сем. *Brassicaceae*), *Heraclеum sibiricum* L. (сем. *Umbelliferae*), *Taraxacum officinale* Wigg. (сем. *Asteraceae*), *Kadenia dubia* (Schkuhr) Lavrova et V.N. Tichom. (сем. *Umbelliferae*) составила $5.8 \cdot 10^{-4}$; $1.5 \cdot 10^{-4}$; $1.1 \cdot 10^{-4}$; $0.5 \cdot 10^{-4}$ бит/сек соответственно. Эти величины энтомофильной активности, по-видимому, соответствуют сформировавшимся биоэкологическим особенностям видов (в жизнедеятельности которых энтомофилия занимает разное место и проявляется специфично): *S. loeselii* – рудеральный, эврибионтный вид, активный энтомофил и очень продуктивный нектаронос, размножающийся семенами; *H. sibiricum* – R-эксплерент, инвазивный вид с перекрестным, энтомофильным опылением и семенным размножением, широко распространившийся на территории Средней России, а также Западной Сибири и Центральной Европы; *T. officinale* – широко распространенный эврибионт, сочетающий перекрестное энтомофильное опыление с сильно выраженной способностью к самоопылению (автогамия, гейтеногамия) и апомиксису, способный размножаться вегетативно; *K. dubia* входит в российские и западно-европейские Красные книги, в фитоценозах встречается изредка и в небольшом обилии.

2.3. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ РАСТЕНИЙ РАМЕНСКОГО-ГРАЙМА (ЦЕНОТИПИЧЕСКИЙ ПОДХОД)

Еще в 30-х годах прошлого века Л.Г. Раменский (1971) отметил (тезисно), что виды растений разных семейств активно и конвергентно осуществляют в фитоценозах специализацию, приводящую к формированию трех ценотипов: 1) виоленты (силовики), являющиеся, как правило, эдификаторами в мезофильных биотопах, энергично развивающиеся и захватывающие территорию, подавляющие полнотой использования ресурсов среды другие виды растений; 2) пациенты (выносливцы), успех которых в борьбе за существование достигается не энергией жизнедеятельности, а выносливостью к неблагоприятным условиям биотопов (засолению, закислению почвы, аридности климата и т.п.); 3) эксплеренты (выполняющие), не обладающие качествами виолентов и пациентов, но способные очень быстро временно захватывать появляющиеся (пионерные) биотопы, еще не занятые виолентами или освобожденные от них естественным или искусственным путем. Л. Г. Раменский (1971) отметил, что предложенная им классификация ценотипов растений весьма условна, поскольку большинство растений совмещают признаки разных ценотипов, являются переходными формами или проявляют изменчивость метаболизма в разных биотопах.

Как и Л.Г. Раменский, Дж. Грайм (Grime, 1974), выделил те же самые функциональные группы растений (в соответствии с их адаптивными стратегиями), хотя неудачно (Работнов, 1985) назвал их: 1) конкуренты (C), 2) стресс-толеранты (S) и рудералы (R). В связи с этим зарубежными фитоценологами и рядом отечественных ученых исследования адаптивных стратегий растений ведутся в рамках CSR-теории Грайма (Grime, Pierce, 2012). При этом важно, что и выделяемые ценотические (ценобиотические) типы по Раменскому, и соответствующие им основные типы стратегии по Грайму характеризуют взаимоотношения между видами растений в соответствующих биотопах (Работнов, 1985), и этот подход в фитоценологии можно условно назвать ценотипическим.

Выделенные Л.Г. Раменским (1971) ценотипы (виоленты – силовики, пациенты – выносливцы, эксплеренты – выполняющие) «по существу характеризуют три основных направления приспособления растений, возникших в процессе их сопряженной эволюции при совместном произрастании и в процессе формирования фитоценозов (фитоценогенеза)» (Работнов, 1985, с. 3). При этом Л. Г. Раменский (1971, с. 232) специально отметил, что выделенные им основные ценобиологические типы – результат схематизации, поскольку, во-первых, «в действительности большинство растений имеет характеристику переходную или смешанную, совмещающую черты двух типов», во-вторых, ценотипы видов растений могут меняться в различных биотопах. Поэтому «в большинстве растительных группировок имеются виды, приближающиеся по своим свойствам к трем намеченным типам: силовиков, выносливцев и выполняющих; их

соотношение отражает условия среды и внутренний ценобиотический строй группировки» (Раменский, 1971, с. 232).

Однако в дальнейшем ценотипическая концепция Л.Г. Раменского отечественными фитоценологами мало использовалась и не получила широкого освещения в отечественной и зарубежной литературе. Вследствие этого, независимо от Л.Г. Раменского, английским фитоценологом Дж. Граймом (Grime, 1974; Grime, Pierce, 2012) развивается до сих пор теория адаптивных (экологических) стратегий растений, аналогичная ценотипической концепции Раменского. Дж. Грайм (Grime, 1974), дополнительно указал возникающие в зависимости от биотопических условий промежуточные типы (CR, SC, RS, CSR), неудачно назвав их типами вторичной стратегии (Работнов, 1985). В действительности же, как отметил Т.А. Работнов (1985), во-первых, следует говорить о пациентности и виолентности как естественных качествах растений, поскольку, например, пациентность является универсальным свойством растений; в частности виоленты в градиенте условий произрастания нередко переходят в пациентное состояние, также пациентами они являются в составе сомкнутых фитоценозов в начальный период онтогенеза и иногда в фазе старения. Во-вторых, по мнению Т.А. Работнова (1985, с. 8), «эксплеренты целесообразно трактовать несколько шире, чем это принято Л. Г. Раменским и Граймом, включив в этот тип стратегии растения, способные быстро и положительно реагировать на ослабление конкуренции не только в результате различных форм нарушения растительности». Тогда эксплерентами являются и весенние эфемероиды некоторых типов листопадных лесов в период ослабления конкуренции со стороны деревьев-виолентов (Работнов, 1985).

Ценотипы, т.е. типы стратегий жизни растений, в определенной степени изменчивы в онтогенезе видов и в различных биотопах. Это и понятно, поскольку, как отметил Т.А. Работнов (1985, с. 11), «термин «стратегия» вполне соответствует «борьбе за существование» в понимании ее Ч. Дарвином». Этот важный эволюционный аспект проблемы экологических стратегий постепенно осознали Дж. Грайм и его коллеги (Grime et al., 1988; Grime, Pierce, 2012). Их новая книга «The evolutionary strategies that shape ecosystems» (Grime, Pierce, 2012) основана на современной трактовке концепции естественного отбора Ч.Дарвина. По мнению авторов книги, дальнейшее развитие концепции адаптивных стратегий и познание их роли в функционировании экосистем перспективно только на основе скорейшей интеграции эволюционной теории и экологии.

В процессе непрерывного взаимодействия видов растений с биотическими и абиотическими факторами внешней среды происходит фитоценогенез – коадаптация данных видов, в результате чего исторически формируются фитоценозы (Работнов, 1985). В соответствии с этим под «стратегией вида» Т.А. Работнов (1985) предложил понимать совокупность приспособлений, обеспечивающих виду возможность совместно обитать с другими организмами и занимать определенное положение в биоценозе. Все это позволяет говорить о взаи-

мосвязи между представлениями о ценотипах Раменского–Работнова (Раменский, 1971; Работнов, 1985) и адаптивными стратегиями Раменского–Грайма (Grime, Pierce, 2012), статусным (Юрцев, 1966, 1968) и эргонтическим (Савинов, Никитин, 2017) подходами к оценке активности растений в экосистемах.

В теории экологических стратегий не используется понятие «активность растений», но при расчетах по системе Раменского–Грайма (CSR-теории) обычно используется комплекс показателей, характеризующих энергию жизнедеятельности видов растений разных семейств, степень и скорость освоения ими ресурсов экосистемной среды в сравнении с конкурентами (Grime, 1974; Работнов, 1985; Grime, Pierce, 2012); наряду с этим предпринимаются попытки связать типы экологических стратегий со способностью растений к микоризообразованию и его интенсивностью.

Дж. Грайм (Grime, 1974; Grime, Pierce, 2012) при выделении типов экологических стратегий использовал известный продукционный показатель – относительную скорость роста растений (RGR) и морфологический индекс (M):

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \quad (2.9)$$

$$M = (a + b + c) / 2 \quad (2.10)$$

где RGR – относительная скорость роста (relative growth rate) ($\text{г/г} \cdot \text{сут}$), W_2 , W_1 – сухая масса растения (г), A_1 , A_2 – площадь листьев (см^2) в моменты времени t_1 и t_2 соответственно; a – максимальная высота растения, b – величина горизонтального разрастания растения и c – максимальная величина опада (в баллах).

Впоследствии для установления адаптивных стратегий стали использовать отношение суммарной площади листьев к массе растения – LAR (leaf area ratio) ($\text{см}^2/\text{г}$), скорость чистой ассимиляции единицы листовой поверхности – NAR (net assimilation rate) ($\text{г/см}^2 \cdot \text{сут}$), а также составляющие LAR:

$$RGR = NAR \times LAR \quad (2.11)$$

$$LAR = SLA \times LMR \quad (2.12)$$

где SLA – площадь единицы массы листа ($\text{мм}^2/\text{мг}$), LMR – листовой индекс (отношение биомассы листьев к общей биомассе растения, мг/мг).

Однако указанные функциональные показатели не всегда однозначно указывают на принадлежность данного вида растений к группе с той или иной экологической стратегией (см. Савинов, Никитин, 2017).

Несомненно, у того или иного вида растения тип основной экологической стратегии генетически запрограммирован, хотя и может меняться в онтогенезе; при этом функциональные и морфологические параметры колеблются в пределах нормы реакции, отражая виолентность, патиентность и эксплерентность, проявляющиеся в соответствующих экологических условиях у всех видов растений, но в разной степени (Работнов, 1985). Показано, что тип экологической стратегии связан с направленностью метаболических процессов у растений, особенностями их химического состава, степенью микоризации (см. Савинов, Никитин, 2017). Имеющиеся данные (Работнов, 1985) позволяют полагать, что тип определенной экологической стратегии конвергентно сформировался в ходе адаптационного процесса у растений разных семейств в пределах соответствующих

природно-климатических зон, экосистем и биомов. Несомненно, благодаря разным типам экологических стратегий (C, S, R, CR, SC, RS, CSR) наземных и водных растений формируются адекватные биотопам биоценозы, происходят сукцессии экосистем.

Можно согласиться с мнениями о том, что хотя теория Раменского-Грайма подвергается критике (см. Савинов, Никитин, 2017), предельно обобщенно характеризует направления адаптациогенеза растений и способы этой адаптации, но указанная теория открыта для дополнения новыми положениями и данными, вследствие чего обладает операциональной и прогностической ценностью (Работнов, 1985). В отличие от статусного (Юрцев, 1966, 1968) и эргонтического подходов (Савинов, Никитин, 2017), теория экологических стратегий Раменского-Грайма не оперирует понятием «активность» и не ставит задачи количественного определения активности растений, но вопросы адаптации, разрабатываемые в теории экологических стратегий, напрямую связаны с аспектами активности ценопопуляций и видов.

Заключение

Активность видов растений является их борьбой за существование, вследствие чего играет важную роль в организации, функционировании и развитии фитоценозов и экосистем, хотя понимается по-разному и потому в настоящее время изучается на основе независимо возникших, но взаимодополняющих подходов; их можно условно подразделить на статусный, эргонтический и ценотипический.

Статусный подход основан на положении о том, что активность вида растения есть мера его преуспевания в соответствующих ландшафтно-климатических условиях, т.е. выражается в результатах освоения видами экосистем, что адекватно степени экологической амплитуды, площади и характеру распространения (повсеместности и равномерности) основных типов местообитания вида внутри ландшафта, общего уровня численности вида (постоянства присутствия) в основных экотопах (Юрцев, 1966, 1968). Данные, получаемые с помощью статусного подхода, по существу отражают в дарвиновском смысле интегральный, конечный результат борьбы за жизнь видов растений, их ценопопуляций, т.е. конечный результат всей совокупности противоречивых взаимодействий этих видов (ценопопуляций) растений со всеми внешними биотическими и абиотическими факторами, элементами в пределах рассматриваемой экосистемы (ландшафта). Вследствие этого, при статусном подходе активность каждого вида растений определяется ценотической значимостью, «местом», которое данный вид занимает среди других в системе сложившихся связей и отношений в растительном сообществе, т.е. по существу его экологической нишей. Такая трактовка активности видов растений в некоторой степени близка критериям биологического прогресса филогенетических групп А.Н. Северцова: биологический вид прогрессирует, если он расширяет свой ареал, увеличивает чис-

ленность и число дочерних групп, а альтернативные векторы развития отражают биологический регресс вида в экосистеме (биоме).

Эргонтический подход (Савинов, Никитин, 2017), в отличие от статусного, позволяет оценивать величины разных форм происходящей, наблюдаемой активности видов (ценопопуляций), в частности морфогенетической, аккумуляционной, энтомофильной и других форм активности видов (ценопопуляций) растений. Величины таких форм активности могут быть интегрированы в обобщенном показателе активности. Таким образом, эргонтический подход, во-первых, дает возможность оценить вклад различных форм активности видов (ценопопуляций) в их наблюдаемое жизненное состояние в экосистеме, во-вторых, такой подход позволяет количественно обобщать данные о разных формах активности видов растений в едином показателе.

С позиции эргонтического подхода активность растительных организмов и их ценопопуляций есть по существу непрерывная борьба за жизнь, за жизненно важные ресурсы, т.е. совокупность всех противоречивых взаимодействий указанных биосистем между собой, с другими видами организмов и абиотическими компонентами экосистем (Савинов, Никитин, 2017). С помощью эргонтического подхода оценивается ход борьбы в разных ее проявлениях, а методы статусного подхода позволяют регистрировать конечный результат борьбы за жизнь видов растений, их ценопопуляций. Но при отмеченных различиях статусный и эргонтический подходы не противоречат друг другу и могут быть использованы совместно, в комплексе, тем более, что еще родоначальник статусного подхода Б.А. Юрцев (1968) предлагал по возможности определять дополнительные важные характеристики активности вида, в частности фенотипический и генотипический составы ценопопуляций. Наши исследования подтверждают это, в частности показывают закономерное снижение морфогенетической активности ценопопуляций (определяемой с использованием фенов) по градиенту загрязнения тяжелыми металлами почв урбозкосистем (Савинов, Никитин, 2017).

Наряду с указанными подходами сформирована и развивается теория адаптивных (экологических) стратегий растений Раменского–Грайма (Раменский, 1971; Работнов, 1985; Grime, 1974, Grime, Pierce, 2012). Работы данного направления исследований можно условно отнести к ценотипическому подходу в связи с первоначально выделенными Л. Г. Раменским (1971) ценотипами растений – виолентами, пациентами и эксплерентами, которые по существу представляют три основных направления адаптогенеза растений, возникших в ходе коэволюции ценотипов и формирования ими фитоценозов (фитоценогенеза) (Работнов, 1985). В этих работах не используется понятие «активность растений», но при разграничении ценотипов (растений с разными стратегиями) обычно используется комплекс показателей, характеризующих энергию жизнедеятельности видов растений разных семейств, степень и скорость освоения ими ресурсов экосистемной среды в сравнении с конкурентами. Наряду с этим предпринимаются попытки связать типы экологических

стратегий растений с их способностью к микоризообразованию и его интенсивностью, что по существу характеризует симбиотическую активность организмов (Савинов, Никитин, 2017). Поэтому есть основания полагать, что статусный, эргонтический подходы и теория Раменского–Грайма имеют точки соприкосновения, могут взаимно дополнять друг друга. На это определенно указывают следующие факты.

Во-первых, под «стратегией вида» предложено понимать совокупность приспособлений, обеспечивающих виду возможность совместно обитать с другими организмами и занимать определенное положение в биоценозе (Работнов, 1985). Во-вторых, определено, что «термин «стратегия» вполне соответствует «борьбе за существование» в понимании ее Ч. Дарвином» (Работнов, 1985, с. 11), а эта борьба (в метафорическом смысле) выражается в непрерывном адаптациогенезе организмов в пределах соответствующей экосистемы, т.е. в их приспособительном взаимодействии с разнообразными биотическими и абиотическими факторами и объектами внешней среды. Этот важный эволюционный аспект проблемы экологических стратегий подтвержден Дж. Граймом и его коллегами (Grime, Pierce, 2012), по мнению которых дальнейшее развитие концепции адаптивных стратегий и познание их роли в функционировании экосистем перспективно только на основе скорейшей интеграции эволюционной теории и экологии.

Таким образом, проблема активности растений как фактора их индивидуального и исторического развития в соответствующих экосистемах позволяет интегрировать данные из различных областей биологии и экологии и в новых, перспективных аспектах рассматривать вопросы организации и развития фитоценозов в экосистемах, в том числе в аспектах их биоиндикации и мониторинга. Наряду с этим нам представляется, что предпринятый анализ в отношении продуцентов укрепляет теоретическую базу для аналогичных исследований в отношении активности консументов и редуцентов и биосферы в целом.

Литература

1. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М.: Медицина, 1966. – 349 с.
2. Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю., Ипатов В.С. О неоднородности растительного покрова лугов и лесов // Бот. журн. 2016. – Т. 101. № 4. – С. 358–376.
3. Малышев Л.И. Флористическое районирование на основе количественных признаков // Бот. журн. 1973. – Т. 58. № 11. – С. 1581–1588.
4. Минвалиев С.В., Павлова О.В. Ценотическая активность многолетних трав в условиях Приморского края // Вестн. Алтайского ГАУ. – 2015. – № 9 (131). – С. 26–30.

5. Налимова Н.В. Оценка внутриландшафтной активности популяций растений // Поливариантность развития организмов, популяций и сообществ. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. – 2006. – С. 118–123.
6. Раменский Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. – Л.: Наука, 1971. – 334 с.
7. Работнов Т.А. О типах стратегий растений // Экология. – 1985. – № 3. – С. 3–12.
8. Савинов А.Б. Аутоценоз и деоценоз как симбиотические системы и биологические категории // Журн. общ. биологии. – 2012. – Т. 73. № 4. – С. 284–301.
9. Савинов А.Б., Никитин Ю.Д. Развитие представлений об активности растений, её экологической роли и способах оценки в экосистемах // Принципы экологии. – 2017. – Т. 6. № 3. – С. 20–39.
10. Свириденко Б.Ф. Флора и растительность водоемов Северного Казахстана. – Омск: Изд-во Омского ГПУ, 2000. – 196 с.
11. Чепинога В.В., Росбах С.А. Активность различных видов водной флоры Иркутско-Черемховской равнины // География и природные ресурсы. – 2008. – № 1. – С. 97–104.
12. Юрцев Б.А. Гипоарктический ботанико-географический пояс и происхождение его флоры. – М.-Л.: Наука, 1966. – 95 с.
13. Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята. Проблемы истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. – Л.: Наука, 1968. – 235 с.
14. Grime J.P. Vegetation classification by reference to strategies // Nature. 1974. V. 250. P. 26–31.
15. Grime J.P., Pierce S. The evolutionary strategies that shape ecosystems. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012. 240 p.

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИММУННОГО СТАТУСА ПОПУЛЯЦИЙ АМФИБИЙ

Относительно новая область научных исследований – экологическая иммуотоксикология – изучает модулирующее воздействие комплекса биотических, абиотических и антропогенных факторов среды (патогенов, загрязняющих веществ, температуры) на иммунные реакции природных популяций растительных и животных организмов. Современные представления о воздействии экологических факторов на организм представлены на рисунке 3.1.

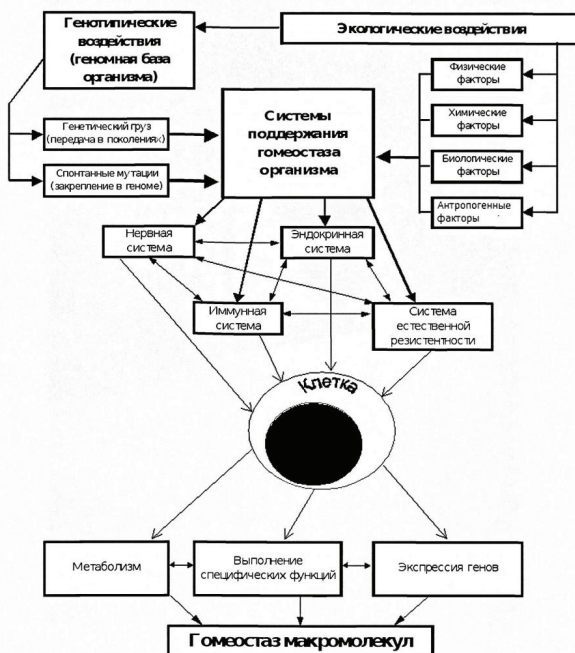


Рис. 3.1. Экологические воздействия и системы поддержания гомеостаза организма
(Черешнев, Шмагель, 2013)

Реакции адаптации проявляются на уровне ведущих регуляторных систем, в первую очередь, нервной, иммунной, эндокринной и др. В условиях экологического неблагополучия территорий, подвергающихся антропогенной нагрузке, в зависимости от состояния адаптации исследование иммунного статуса живых организмов имеет не только практическую значимость, связанную с

оценкой качества среды путём биоиндикации. Оно также способствует получению характеристик популяционного гомеостаза, обеспечивающего выживание и существование животных в условиях антропогенного средового стресса.

Крупный класс позвоночных – земноводные или амфибии (*Amphibia*) – является объектом широкого спектра экологических исследований (Леонтьева, Семенов, 1997; Захаров и др., 2000; Seiter, 2011). Довольно продолжительная индивидуальная жизнь амфибий, высокая численность (особенно в нарушенных экосистемах) и привязанность к водной среде обитания делает эту группу животных одним из самых удобных объектов среди позвоночных животных в исследованиях по изучению механизмов адаптации животного мира к постоянно меняющимся условиям окружающей среды.

Иммунная система амфибий также стала предметом растущего интереса, во-первых, с филогенетической точки зрения, в связи с познанием эволюционного становления иммунитета, и, во-вторых, с сокращением в последнее время численности таксонов этих животных (Кузьмин, 1997; Fournier et al., 2005).

К настоящему времени многое известно о функционировании иммунной системы млекопитающих, гораздо менее изучены другие группы позвоночных, включая амфибий. Класс амфибий включает три отряда: хвостатые (*Urodela*), безногие (*Apoda*) и бесхвостые (*Anura*). Наибольшим эволюционным прогрессом в развитии иммунной системы характеризуются бесхвостые амфибии, иммунная система которых представляет собой иерархическое единство лимфоидной ткани: органов, свободных клеток и молекул, имеющих общее происхождение и функционирующих как единое целое. Центральными органами иммунной системы называют органы, где происходит формирование и созревание иммуноцитов (костный мозг, вилочковая железа – тимус). В периферических органах (селезенка, лимфоузлы, скопления лимфоидной ткани) происходит пролиферация и дифференцировка зрелых лимфоцитов, продуцируются антитела и эффекторныe лимфоциты.

Функционирование иммунной системы осуществляется на двух уровнях. Первый – филогенетически более древний, составляют неспециализированные защитные механизмы – это *врожденный иммунитет*, который обуславливают кожные и слизистые покровы, внутренние барьеры организма, лимфоузлы, фагоцитирующие клетки, а также, гуморальные факторы: лизоцим, комплемент, интерферон и др. Второй уровень иммунологических функций составляют механизмы, определяющие способность организма к избирательному (специфическому) ответу на конкретные антигены. Это приобретенный или *адаптивный иммунитет*. Три основных типа клеток: В-лимфоциты, Т-лимфоциты и антигенпрезентирующие клетки, формируют *гуморальную и клеточную формы* адаптивного иммунного ответа (Галактионов, 2004; Хайтов, 2006). Оценка иммунного статуса амфибий предполагает дифференцированную характеристику системы неспецифической резистентности, Т- и В- систем.

Многочисленные литературные данные указывают на то, что увеличение количества иммунологических методов зачастую не приносит ожидаемого эффекта, вложенный большой труд, временные и материальные затраты – не со-

ответствовали полученным результатам. Поэтому в настоящей главе мы остановимся на оптимальном числе простых и объективных тестов, способных отразить состояние иммунного статуса организма амфибий в условиях большого потока антигенов и других стрессовых факторов среды обитания.

3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ И КЛЕТОЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ОРГАНОВ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

Материалы и оборудование: микроскоп (МТ 4000), счетчик лабораторный (стимул С-5), холодильник, сухожаровой шкаф, технические весы, торсионные весы, центрифуга, стеклянный гомогенизатор, камера Горяева, препаровальные иглы, хирургические ножницы, марля, центрифужные пробирки, пастеровская пипетка, мерные стаканы, дозаторы пипеточные (100, 1000 мкл), карандаш по стеклу.

Реактивы:

1. Забуференный физиологический раствор (ЗФР). Для приготовления смешивают 9 частей 1,5 М NaCl (87,7 г NaCl растворяют в 1 л дистиллированной воды) с 1 частью 1,5 М фосфатного буфера (29,6 мл KH_2PO_4 – 90,73 г/л, 70,4 мл $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 118,7 г/л). Доводят значение pH до 7,4, добавляют по каплям KH_2PO_4 (в качестве щелочи), либо $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (в качестве кислоты).

2. Раствор Рингера для холоднокровных животных.

3. Дистиллированная вода.

4. Раствор Хенкса (среда 199).

5. Краска Романовского-Гимзы.

Порядок работы. Для получения ядросодержащих клеток из лимфоидных органов, животных обездвигивают, разрушая спинной и головной мозг препаровальной иглой, взвешивают на технических весах с точностью до 0,02 грамма (ошибка измерения $\pm 0,01$), вскрывают, выделяют тимус, селезенку, лимфоузлы и печень. Массу лимфоидных органов определяют на торсионных весах Waga Torsyjna–WT с точностью до 0,1 мг (ошибка измерения $\pm 0,03$). Клетки из лимфоидных органов тefлоновым пестиком выдавливают в стеклянный гомогенизатор в среду 199 (3 мл). Суспензию клеток фильтруют через капроновый фильтр и трижды отмывают от частиц жировой ткани центрифугированием при 1000 об./мин в течение 10 мин. При подсчете числа клеток 0,1 мл суспензии разводят в 1,9 мл 3%-ной уксусной кислоты с краской Романовского-Гимзы, ресуспендируют и подсчитывают количество клеток в камере Горяева общепринятым клиническим способом (Меньшиков и др., 1987).

В том случае, когда требуется сохранить жизнеспособность кариоцитов и тимоцитов, к осадку клеток добавляют среду Хенкса (1:1), инкубируют 3-4 минуты и трижды отмывают 10-кратным объемом холодной среды Хенкса центрифугированием (1000 об./мин, 10 мин). Для определения относительного со-

держания живых клеток к 20 мкл рабочего разведения клеток ($2 \times 10^6/\text{мл}$ – $5 \times 10^7/\text{мл}$) добавляют равный объем краски Романовского-Гимзы. Через 15 мин под микроскопом в камере Горяева подсчитывают число окрашенных (мертвых) клеток на 200 клеточных элементов в поле зрения). Содержание клеток в 1 мм^3 вычисляют, исходя из объема камеры и степени разведения суспензии, по формуле вычисления лейкоцитов:

$$X = \frac{a \cdot 4000 \cdot v}{b} \quad (3.1)$$

где a – число клеток, подсчитанных в определенном объеме; v – разведение; b – количество сосчитанных малых квадратов.

Определяют число живых клеток (неокрашенных) клеток и число окрашенных (мертвых) клеток в лимфоидных органах, в расчете на 1000 просмотренных кариоцитов.

Оценка результатов. Индекс жизнеспособности кариоцитов в тимусе ($A_{\text{тим}}$), в селезенке ($A_{\text{сел}}$), в лимфоузлах ($A_{\text{лим}}$), в печени ($A_{\text{печ}}$) вычисляют по формулам:

$$A_{\text{тим}} = \frac{Пж - Пм}{Пж} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

$$A_{\text{сел}} = \frac{Пж - Пм}{Пж} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

$$A_{\text{лим}} = \frac{Пж - Пм}{Пж} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

$$A_{\text{печ}} = \frac{Пж - Пм}{Пж} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

где: $Пж$ – число живых клеток, $Пм$ – число мертвых клеток.

Индекс органа рассчитывают как отношение массы органа к массе тела в промилле (‰) (Шварц, Смирнов, Добринский, 1968; Ивантер, Туманов, 1985).

$$I_{\text{тим}} = \frac{m_{\text{тим}}}{m_{\text{лжг}}} \text{‰} \quad (3.6)$$

$$I_{\text{сел}} = \frac{m_{\text{сел}}}{m_{\text{лжг}}} \text{‰} \quad (3.7)$$

$$I_{\text{лим}} = \frac{m_{\text{лим}}}{m_{\text{лжг}}} \text{‰} \quad (3.8)$$

$$I_{\text{печ}} = \frac{m_{\text{печ}}}{m_{\text{лжг}}} \text{‰} \quad (3.9)$$

где: $I_{\text{тим}}$, $I_{\text{сел}}$, $I_{\text{лим}}$, $I_{\text{печ}}$ – индексы органов; $m_{\text{тим}}$, $m_{\text{сел}}$, $m_{\text{лим}}$, $m_{\text{печ}}$ – масса внутренних органов, в мг; $m_{\text{лжг}}$ – масса тела лягушек, в г.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЕТОЧНОГО СОСТАВА КОСТНОГО МОЗГА (МИЕЛОГРАММА) АМФИБИЙ

Определение содержания клеток костного мозга амфибий разных ростков кроветворения (миелоидного и эритроидного) основано на принципе распознавания образа клеток за счет различия их внешнего вида и интенсивности окрашивания красителем.

Материалы и оборудование: микроскоп (МТ 4000), счетчик лабораторный (стимул С-5), холодильник, сухожаровой шкаф, препаровальные иглы, хирургические ножницы, марля, пробирки, шприц, пастеровская пипетка, мерные стаканы, карандаш по стеклу.

Реактивы:

1. Забуференный физиологический раствор (ЗФР). Для приготовления смешивают 9 частей 1,5 М NaCl (87,7 г NaCl растворяют в 1 л дистиллированной воды) с 1 частью 1,5 М фосфатного буфера (29,6 мл KH_2PO_4 – 90,73 г/л, 70,4 мл $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 118,7 г/л). Доводят значение pH до 7,4, добавляют по каплям KH_2PO_4 (в качестве щелочи), либо $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (в качестве кислоты).

2. Раствор Рингера для холоднокровных животных.

3. Дистиллированная вода.

4. Раствор Хенкса (среда 199).

5. Краска Романовского-Гимзы.

6. 0,8% цитрат натрия.

7. Этанол.

Порядок работы. Для приготовления препаратов костного мозга лягушку обездвигивают, разрушая спинной мозг и головной мозг при помощи препаровальной иглы. Вскрывают и выделяют трубчатые бедренные кости. Суставы трубчатых костей срезают и при помощи шприца костный мозг вымывают 0,8% холодным раствором цитрата натрия (или забуференным физиологическим раствором) в пробирку объемом до 1–2 мл. При помощи пастеровской пипетки смесь ресуспендируют и наносят 2–3 капли суспензии на холодное обезжиренное мокрое предметное стекло. Отметим, что при этом пипетку держат на расстоянии 15–20 см от стекла. После высыхания капли фиксируют этанолом. Затем препарат окрашивают краской Романовского-Гимзы в течение 20 минут.

Количественная оценка клеточного состава костного мозга. Учет клеток костного мозга проводят по окрашенным мазкам с помощью микроскопа с иммерсионной системой при общем увеличении $\times 1500$, зигзагообразно прорезая полем зрения микроскопа всю толщу мазка. В каждом препарате анализируют 100 кариоцитов, дифференцируя клетки миелоидного (миелобласты, промиелоциты, миелоциты и метамиелоциты) и эритроидного (эритробласты, про-нормоциты, базофильные и полихроматофильные нормоциты) ростков кроветворения. Долю каждой субпопуляции клеток выражают в %.

Миелобласты – это родоначальные клетки гранулоцитарного ряда, чаще круглой, реже полигональной формы, отличаются нежной структурой ядер. Ядро содержит 2–5 ядрышек, окрашенных в синий или голубой цвет. Голубая ци-

топлазма окружает ядро небольшим пояском, содержит умеренное количество неспецифической азурофильной зернистости, имеющей переходные оттенки от красного до фиолетового цвета (рис. 3.2а). Промиелоциты – ядро фиолетовое, круглое или овальное с эксцентричным или центральным положением, тонкая ядерная мембрана. Цитоплазма голубая. Гранулы азуро-, эозинофильные (рис 3.2б). Миелоциты – ядро красно – фиолетовое, овальное или с небольшой выемкой с эксцентричным положением. Неотчетливая ядерная мембрана. Голубовато-розовая цитоплазма (рис. 3.2в). Метамиелоциты – ядро фиолетовое, толстое, подковообразное или с выемкой с эксцентричным или центральным положением. Ядерная мембрана присутствует (рис. 3.2г).

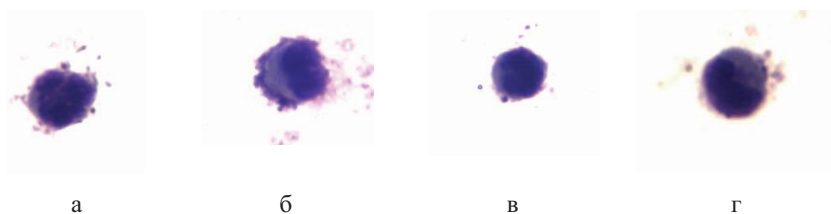


Рис. 3.2. Клетки миелоидного ростка костного мозга (а – миелобласт, б – промиелоцит, в – миелоцит, г – метамиелоцит)

Эритробласты – являются морфологически различными родоначальными клетками элементов эритроидного ростка. Это большие круглые клетки диаметром 15–25 мкм или около 20 мкм и более, имеют большое овальное или круглое ядро, занимающее большую часть клетки, окрашивающееся в темный красно-фиолетовый цвет. Цитоплазма имеет различные размеры, насыщенно-синий цвет с фиолетовым оттенком, с зоной просветления вокруг ядра в некоторых клетках (рис. 3.3а). Пронормоциты – морфологически близки к эритробластам, но отличаются от них меньшей величиной (12–18 мкм), более грубой структурой ядра. Форма клетки круглая или овальная. Цитоплазма значительной величины, базофильная, окрашивается в синий цвет (рис. 3б). Базофильные нормоциты обычно имеют размеры 10–18 мкм. Ядро круглое, плотное, не содержит нуклеол. Структура ядра более грубая, чем у пронормоцита, с четким разделением на базихроматин и оксихроматин, в результате чего ядро имеет колесовидную структуру. Цитоплазма базофильная, темно- или светло-синяя (рис. 3.3в). Полихроматофильные нормоциты по размеру меньше базофильных – 9–12 мкм. Форма круглая или овальная. Ядро плотное. Цитоплазма клеток, накапливая гемоглобин, воспринимает кислые краски и в зависимости от степени насыщения гемоглобином при окрашивании приобретает цвет от серовато-синего до серовато-розового – полихроматофилия (рис. 3.3г).

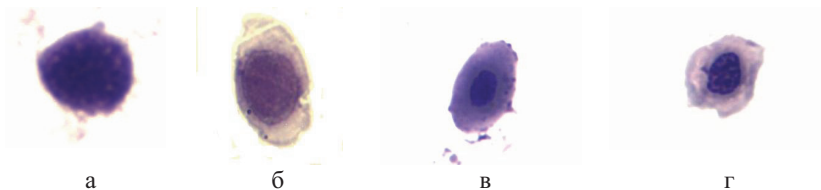


Рис. 3.3. Клетки эритроидного ростка костного мозга (а – эритробласт, б – пронормоцит, в – нормоцит базофильный, г – нормоцит полихроматофильный)

Оценка результатов. Метод позволяет оценить миелограмму – процентное содержание клеток эритроидного и миелоидного ряда в составе костного мозга амфибий. Изменение состава миелограммы определяется состоянием кровеносной и иммунной систем организма, поскольку костный мозг является центральным органом не только гемопоэза, но и иммунитета.

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕЙКОЦИТАРНОЙ ФОРМУЛЫ И ЛЕЙКОЦИТАРНЫХ ИНДЕКСОВ АМФИБИЙ

Подробное описание дифференцированного определения содержания лейкоцитов и формулы клеток крови амфибий приведено нами ранее (Экологический мониторинг, 2006). Анализ данных по лейкоцитарной системе крови амфибий позволяет установить количественно-качественные изменения в иммунологических показателях крови: как специфических (содержание лимфоцитов), так и неспецифической защитной системы (содержание нейтрофильных гранулоцитов разной степени зрелости). Кроме того, на основании лейкоцитарной формулы крови проводят расчет многих интегральных лейкоцитарных индексов (Мустафина, Крамаренко, Кобцева, 1999; Ткаченко, Дерхо, 2014):

$$\text{Крово-клеточный показатель:} \quad \text{ККП} = \frac{\mathcal{E} + \text{ПН} + \text{СН}}{\text{Л} + \text{М}} \quad (3.10)$$

$$\text{Реактивный ответ нейтрофилов:} \quad \text{РОН} = \frac{\text{ПН} \cdot \text{СН}}{(\text{Л} + \text{М}) \cdot \mathcal{E}} \quad (3.11)$$

$$\text{Лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс:} \quad \text{ИЛГ} = \frac{\text{Л} \cdot 10}{\mathcal{E} + \text{ПН} + \text{СН}} \quad (3.12)$$

$$\text{Индекс соотношения нейтрофилов и лимфоцитов:} \quad \text{ИСНЛ} = \frac{\text{ПН} + \text{СН}}{\text{Л}} \quad (3.13)$$

$$\text{Индекс соотношения лимфоцитов и эозинофилов:} \quad \text{ИСЛЭ} = \frac{\text{Л}}{\mathcal{E}} \quad (3.14)$$

$$\text{Индекс соотношения нейтрофилов и эозинофилов:} \quad \text{ИСНЭ} = \frac{\text{ПН} + \text{СЭ}}{\mathcal{E}} \quad (3.15)$$

$$\text{Индекс сдвига лейкоцитов:} \quad \text{ИСЛ} = \frac{\mathcal{E} + \text{Б} + \sum \text{Н}}{\text{М} + \text{Л}} \quad (3.16)$$

$$\text{Индекс ядерного сдвига нейтрофилов: } \text{ИЯСН} = \frac{\text{ПН} + \text{Мл} + \text{ЮН}}{\text{СН}} \quad (3.17)$$

где *Мл* – миелоциты; *Н* – нейтрофилы; *ЮН* – юные нейтрофилы; *ПН* – палочкоядерные нейтрофилы; *СН* – сегментоядерные нейтрофилы; *Э* – эозинофилы; *Б* – базофилы; *М* – моноциты; *Л* – лимфоциты.

Оценка результатов. Уровень изменения величины лейкоцитарных индексов: кровно-клеточного показателя, индекса соотношения нейтрофилов и лимфоцитов, лимфоцитарно-гранулоцитарного индекса, соотношения лимфоцитов и эозинофилов и сдвига лейкоцитов, позволяет выявить признаки угнетения иммунной реактивности, что дает основание рассматривать их, в качестве популяционных маркеров иммунного статуса амфибий.

3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УРОВНЯ ИММУННЫХ КОМПЛЕКСОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ АМФИБИЙ

Метод основан на селективной преципитации комплекса антиген–антитело (АГ–АТ) в 3,75%- и 7,0%-ных растворах полиэтиленгликоля с последующим фотометрическим определением плотности преципитата (Гриневич, Алферов, 1981). Приготовление разных концентраций позволяет оценить различные иммунные комплексы – крупные (при использовании 3,75% раствора полиэтиленгликоля) и мелкие (при использовании 7,0% раствора полиэтиленгликоля).

Материалы и оборудование: спектрофотометр СФ-2000, холодильник, сухожаровой шкаф, центрифуга, препаровальные иглы, хирургические ножницы, марля, пробирки, на 5 мл, пробирки для микропроб, дозаторы пипеточные (50, 100 мкл).

Реактивы:

1. 0,1М боратный буфер pH 8,4. Для этого растворяют в 1л воды 3,41г борной кислоты и 4,275г буры.
2. 3,5% и 7,0% растворы полиэтиленгликоля (ПЭГ).
3. Дистиллированная вода.

Приготовление сыворотки крови. Кровь от каждой лягушки собирают в отдельную пробирку в объеме не менее 2,5 мл. Забор крови у амфибий проводят из сердца с помощью шприца. Затем кровь сливают в центрифужные пробирки и помещают в термостат на 20-30 мин при $t=35^{\circ}\text{C}$ для свертывания. После этого отделившуюся сыворотку отсасывают в центрифужные пробирки и используют для анализа.

Порядок проведения реакции. К 0,3 мл сыворотки добавляют 0,6 мл боратного буфера. Перемешивают и разносят по 0,3 мл в три пробирки. В первую приливают 2,7 мл раствора боратного буфера (контроль), во вторую – 2,7 мл 3,5% раствора ПЭГ, в третью – 2,7 мл 7,0% раствора ПЭГ. Перемешивают и оставляют на 60 минут при комнатной температуре. Затем определяют оптическую плотность на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны 450–530 нм.

Содержание иммунных комплексов выражают в ед. опт. плотности/100 мл сыворотки крови.

Оценка результатов. Иммунные комплексы являются одним из продуктов формирования иммунного ответа организмом. Они способны влиять на функцию Т- и В-лимфоцитов, макрофагов и таким путем участвовать в регуляции иммунного ответа по принципу обратной связи. С помощью определения содержания циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) возможна оценка степени иммунной защиты организма.

3.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ ЛЯГУШКИ

Принцип метода основан на взаимодействии антигена, радиально диффундирующего из лунки, вырезанной в геле, с антителом с образованием кольца преципитации. До тех пор, пока в лунке сохраняется избыток антигена, происходит постепенное увеличение диаметра кольца преципитации (Исаева, Вязов, 1996).

Материалы и оборудование: крышка 96 луночной планшеты 9х12, электрическая плитка, пробойник для приготовления лунок (инъекционная игла с наружным диаметром 2 мм, острый конец которой сточен), микродозаторы от 1 до 10 мкл, колбы, мерные стаканы, весы, измерительный инструмент с точностью до 0,1 мм, фильтровальная бумага.

Реактивы:

1. 1,5% агар. 1,5 г агар-агара растворяют при нагревании в 100 мл физ. р-ра.
2. 2% полиэтиленгликоль. 2 г полиэтиленгликоля растворяют в 100 мл физ. р-ра.
3. 0,0001% раствор мертиолята.
4. Моноспецифические антитела к IgG лягушки.
5. Физиологический раствор.
6. Краситель амидо-черный 10В.
7. 7 % раствор CH_3COOH .

Порядок проведения реакции. На крышку 96 луночной планшеты 9×12 (пластины) наливают 16 мл предварительно нагретого раствора агара, содержащего моноспецифические антитела к IgG лягушки (50мкл). Платину располагают строго горизонтально, что бы получить ровный слой толщиной около 1,5 мм. Как только агар затвердеет, пробойником пробивают в агаре лунки, куда затем закапывают сыворотки в объеме 2–5 мкл. Лунки располагают на расстоянии не менее 4 и не более 10 мм. Пластины с гелем помещают во влажную камеру на 3 суток, при комнатной температуре. Затем отмывают физиологическим раствором неприципитировавшиеся белки, подсушивают и окрашивают красителем амидо-черный 10В, на 5-10 мин, смывают краску водой. Затем пла-

стину помещают в 7% раствор CH_3COOH на 5-6 мин и вновь промывают водой.

Отчетливые кольца преципитации можно измерить прямо на влажной пластине. Если нужно оставить документальное подтверждение, то после снятия результатов на пластины кладут фильтровальную бумагу, прикатывают ее, чтобы убрать пузырьки воздуха, затем кладут еще стопку бумаги и помещают под гнет. После того, как жидкость впитается в бумагу, ее снимают с планшеты и высушивают, получая отпечаток с отверстиями, окрашенный краской. Хранят такие отпечатки между листами фильтровальной бумаги.

Оценка результатов. Площадь, занимаемая преципитатом к концу диффузии, прямо пропорциональна исходной концентрации иммуноглобулина в лунке. Для построения калибровочной кривой берут площадь преципитата (или квадрат его диаметра), как функцию концентрации иммуноглобулина. Получается прямая, выражающая зависимость:

$$S = K \cdot Q_{\text{Ag}} + S_0 \quad (3.18)$$

где S – площадь преципитата, включая S_0 , S_0 – площадь стартовой лунки, Q_{Ag} – количество иммуноглобулина.

3.6. ИНДУКЦИЯ АНТИТЕЛООБРАЗОВАНИЯ *IN VIVO*

Для индукции антителообразования *in vivo* взрослых животных или личинок иммунизируют динитрофенолом, конъюгированным с гемоцианином моллюска фисуреллы или сывороточными белками других видов животных. Дозы антигена могут варьировать от 2 до 10 мкг/г массы тела животного. Для исследования кинетики антителообразования вводят антиген и затем два раза в неделю берут кровь для анализа. Предпочитают использовать метод, в котором антитела выявляют по лизису нагруженных антигеном эритроцитов в присутствии комплемента (Иммунологические методы..., 1988).

Материалы и оборудование: холодильник, сухожаровой шкаф, центрифуга, препаровальные иглы, хирургические ножницы, марля, пробирки, на 5 мл, пробирки для микропроб, дозаторы пипеточные (50, 100 мкл).

Реактивы:

1. Гели для изоэлектрофокусирования (ИЭФ). Раствор А: 5% N,N,N',N'–тетраметилэтилендиамин (ТЕМЭД). Раствор Б: 100 г акриламида, 2,7 г N,N–метиленабисакриламида, 300 мл дистиллированной воды.

2. 1,5%-ный раствор агарозы.

3. Забуференный физ. р-р (ЗФР). Для приготовления смешивают 9 частей 1,5 М NaCl (87,7 г NaCl растворяют в 1 л дистиллированной воды) с 1 частью 1,5 М фосфатного буфера (29,6 мл KH_2PO_4 – 90,73 г/л, 70,4 мл $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 118,7 г/л). Доводят значение pH до 7,4, добавляя по каплям KH_2PO_4 (в качестве щелочи), либо $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (в качестве кислоты).

4. Комплемент морской свинки или *Xenopus*.

Порядок проведения реакции. Клетки-мишени (эритроциты лягушек) промывают и осаждают центрифугированием и держат при комнатной температуре. Непосредственно перед использованием в небольшую колбу наливают 1 мл агара, а затем 0,15 мл осадка эритроцитов, подогретого до 55°C (30с), и осторожно (чтобы не появлялись пузырьки), но тщательно смешивают клетки с агаром. Смесь быстро наслаивают на поверхность геля. Чтобы получить хороший слой агара, смесь наносят быстро и равномерно. Если образовались комки эритроцитов (слишком горячая смесь, недостаточное предварительное прогревание эритроцитов, плохое состояние клеток и т. п.), их осторожно удаляют струей воды и после этого наносят новый слой.

На поверхность затвердевшего геля необходимо наслоить комплемент (морской свинки или *Xenopus*), предварительно адсорбированный клетками-мишеням. Равномерного распределения комплемента (2 мл в разведении 1: 10) по поверхности геля достигают или покачиванием геля, или прокатыванием пипетки по гелю. Зоны лизиса эритроцитов появляются через 1–2 ч инкубации геля во влажной камере при 37°C.

Оценка результатов. Метод не отличается высокой чувствительности, и позволяет выявить в основном иммуноглобулины G (*IgG*) лягушек, которые фиксируют комплемент морской свинки.

3.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАГОЦИТАРНОЙ АКТИВНОСТИ ЛЕЙКОЦИТОВ КРОВИ АМФИБИЙ

Одним из важных свойств лейкоцитов амфибий является их способность к захвату чужеродного материала. С целью стандартизации фагоцитоза и для более точной обработки результатов исследования реакцию проводят с биологическим материалом, например, с клетками пекарских дрожжей. Процент клеток, поглотивших дрожжи, принимается за выражение фагоцитарной активности организма.

Материалы и оборудование: микроскоп (МТ 4000), центрифуга, счетчик лабораторный (стимул С-5), холодильник, сухожаровой шкаф, центрифуга, пробирки, предметные стекла, центрифужные пробирки, пастеровская пипетка, мерные стаканы, препаровальные иглы, хирургические ножницы, марля, пробирки, на 5 мл, пробирки для микропроб, дозаторы пипеточные (50, 100 мкл), фильтровальная бумага.

Реактивы:

1. Забуференный физиологический раствор (ЗФР). Для приготовления смешивают 9 частей 1,5 М NaCl (87,7 г NaCl растворить в 1 л дистиллированной воды) с 1 частью 1,5 М фосфатного буфера (29,6 мл KH_2PO_4 – 90,73 г/л, 70,4 мл $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 118,7 г/л). Довести значение pH до 7,4, добавляя по каплям KH_2PO_4 (в качестве щелочи), либо $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (в качестве кислоты).

2. Этанол.

3. Дистиллированная вода.

4. Краска Романовского–Гимзы.

Порядок работы. К 50 мкл лейкоцитарной суспензии периферической крови амфибий добавляют 50 мкл 0,05%-ного раствора клеток пекарских дрожжей. Пробирки центрифугируют при 1000 об./мин в течение 1 мин, затем помещают в холодильник на 30 мин. После этого добавляют 25 мкл фиксатора и оставляют стоять при комнатной температуре 10 мин. Затем пробирки аккуратно переворачивают на фильтровальную бумагу, стряхивают и добавляют 50 мкл дистиллированной воды. Хорошо перемешивают и помещают весь объем пробирки на чистое предметное стекло в виде капли. Оставляют до полного высыхания, затем зафиксируют в спирте (15 мин) и окрашивают готовой краской Романовского–Гимзы (в течение 10 мин). Краску смывают проточной водой, мазок высушивают на воздухе. Готовый мазок рассматривают под микроскопом при увеличении $\times 40$. В окрашенных мазках проводят подсчет фагоцитарного индекса (% фагоцитирующих клеток) на 100 клеток. За фагоцитирующую принимают лейкоцитарную клетку, захватившую одну и более частиц дрожжей.

Оценка результатов. Метод дает информацию о функциональной активности лейкоцитов, их способности захватывать чужеродные агенты. Статистически значимое повышение показателя фагоцитоза свидетельствует о напряжении, а снижение показателя – об угнетении факторов неспецифической естественной резистентности организма.

3.8. ОЦЕНКА ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ БЕЛКОВ СЫВОРОТКИ КРОВИ

Окислительная модификация белков, выполняющих различные и уникальные биологические функции, приводит к различным функциональным нарушениям в организме: каталитической, транспортной, рецепторной, иммунологической. При стрессорных воздействиях одним из центральных механизмов общей системы адаптации к экстремальным условиям, является окислительный гомеостаз, при котором наблюдается не только повышение состояния антиоксидантной и прооксидантной систем организма, но и поддержание их соотношения на более высоком сбалансированном уровне.

Метод оценки окислительной модификации белков (ОМБ) основан на реакции взаимодействия карбонильных производных окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином (2,4-ДНФГ) с образованием 2,4-динитрофенилгидразонов (Дубинина, 2006). Протекающая реакция имеет вид:



Материалы и оборудование: спектрофотометр СФ-2000, холодильник, сухожаровой шкаф, центрифуга, препаровальные иглы, хирургические ножни-

цы, марля, пробирки, на 5 мл, пробирки для микропроб, дозаторы пипеточные (50, 100 мкл).

Реактивы:

1. Фосфатный буфер (рН=7,4) Для приготовления смешивают 9 частей 1,5 М NaCl (87,7 г NaCl растворяют в 1 л дистиллированной воды) с 1 частью 1,5 М фосфатного буфера (29,6 мл KH_2PO_4 – 90,73 г/л, 70,4 мл $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ – 118,7 г/л). Доводят значение рН до 7,4, добавляя по каплям KH_2PO_4 (в качестве щелочи), либо $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ (в качестве кислоты).

2. 2,4-динитрофенилгидразин (2,4-ДНФГ). Для приготовления смешивают 200 мг в 100 мл 2 N HCl и растворяют на водяной бане для полного растворения 2,4-ДНФГ.

3. Дистиллированная вода.

4. Хлорная кислота (HClO_4), 1N.

5. Соляная кислота HCl, 2N.

6. Мочевина 8M. Для приготовления 8M раствора мочевины растворяют 240 г в 500 мл воды.

7. Смесь этилацетат-этанол в отношении 1:1.

8. Раствор Рингера для холоднокровных животных.

Получение сыворотки крови. Проводят аналогично описания в разделе 3.4.

Порядок проведения реакции. Для оценки ОМБ на каждый образец сыворотки готовят по две пробирки (объемом 5 мл): опыт и контроль. В обе пробирки добавляют 0,95 мл фосфатного буфера (рН=7,4) и 0,05 мл сыворотки. Затем в опытные пробы приливают 2,4-ДНФГ (1 мл), растворенного в 2N HCl. В контрольные пробы вместо 2,4-ДНФГ приливают равный объем 2N HCl. К обеим пробиркам добавляют 1 мл 1N хлорную кислоту для осаждения белков. Пробы перемешивают и инкубируют при комнатной температуре в течение 1 ч, затем центрифугируют 15 мин при 3000 тыс. об./мин. Далее центрифугат сливают, а осадок промывают) для экстракции липидов и 2,4-ДНФГ, смесью этилацетата и этанола (1:1) по 3 мл в пробу. Пробирки плотно закрывают и снова центрифугируют в течение 15 мин. После этого супернатант сливают, а осадок высушивается в холодильнике в течение ночи. Затем подсушенный осадок растворяют в 8 М растворе мочевины. Мочевину приливают к осадку в объеме 3 мл. Для лучшего растворения осадка добавляют 1 каплю 2N HCl. Полученные в результате окислительной модификации белков карбонильные производные взаимодействуют с 2,4-ДНФГ с образованием 2,4-динитрофенилгидразонов. Оптическую плотность образовавшихся динитрофенилгидразонов регистрируют на спектрометре СФ-2000 при пяти длинах волн: 230, 270, 370, 430 и 530 нм. Для альдегидных карбонильных производных спектр поглощения регистрируют при длине волны 230 и 270 нм. Для алифатических кетонных карбонильных производных нейтрального характера спектр поглощения – при 370 нм, основного характера – при 430 и 530 нм.

Оценка результатов. Расчет содержания карбонильных производных в сыворотке крови выражают в единицах оптической плотности на мл/ сыворотки

(ОЕ/ мл). Степень интенсивности свободно-радикальных процессов в организме свидетельствует об активности иммунной системы организма и механизмах адаптации животных к существованию в условиях постоянного загрязнения и урбанизации.

3.9. ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА МИКРОЯДЕР В ЭРИТРОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ АМФИБИЙ

Цитогенетический гомеостаз организма (выявление клеток с хромосомными aberrациями, микроядрами и др.) дает характеристику и состояния иммунной системы, отвечающей за элиминацию ксенобиотиков и aberrантных клеток. Для оценки цитогенетического гомеостаза зеленых лягушек использовали микроядерный тест, основанный на подсчете эритроцитов с микроядрами – фрагментов хроматина, не включенного в ядро (Жулева, Дубинин, 1994). Микроядра в делящихся клетках возникают из-за структурных хромосомных aberrаций или нарушений функции митотического веретена деления.

Материалы и оборудование: микроскоп (МТ 4000), иммерсионный объектив, счетчик лабораторный (стимул С-5), предметные стекла, шпатель для приготовления мазков, препаровальные иглы.

Реактивы:

1. Смесь Никифорова для обезжиривания стекол: спирт : эфир в отношении 1:1.
2. Иммерсионное масло.
3. Этанол.
4. Дистиллированная вода.
5. Краска Романовского–Гимзы.

Порядок работы. После обездвиживания лягушки, из сердца проводят забор крови и на предметных, обезжиренных стеклах готовят мазки крови. Угол между шпателем и предметным стеклом не должен превышать 45–50°. Передвигают шпатель по предметному спокойно и не очень быстро, при этом кровь должна тянуться за шпателем («вытяжные» мазки). Приготовленный мазок оставляют до полного высыхания при комнатной температуре. Затем фиксируют в абсолютном спирте, насаивая его на горизонтально лежащий мазок высоким слоем. Фиксацию проводят в течение 10 мин. После полного высыхания, мазок окрашивают в течение 20 мин. красителем Романовского Гимза. Затем смывают проточной водой и оставляют до полного высыхания.

Приготовленные препараты рассматривают под световым микроскопом с использованием иммерсионного объектива при общем увеличении $\times 1500$. Анализируют 2000 эритроцитов на препарат. Подсчитывают общее число микроядер на 1000 эритроцитов крови, проводя их дифференцировку. В связи с отсутствием в литературе четких количественных и качественных классификационных характеристик шести видов микроядер, нами предложено выделять в эритроцитах амфибий четыре вида: а) – хорошо оформленные, обособленные;

б) – прикрепленные; в) – палочковидные; г) – разрыхленные, с учетом формы микроядра и его расположения относительно основного клеточного ядра.

Оценка результатов. Подсчитывают суммарное содержание микроядер на отдельную особь и относительную величину на 1000 эритроцитов. Затем получают усредненные показатели содержания микроядер в периферической крови лягушек в исследованных выборках.

Литература

1. Галактионов В.Г. Иммунология. М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 528 с.
2. Гриневич Ю.А., Алферов А.Н. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных, // Лабораторное дело. – 1981. – №8. – С. 493–495.
3. Дубинина Е.Е. Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клеток (жизнь и смерть, созидание и разрушение). Физиологические и клиничко-биохимические аспекты. – СПб.: Издательство Медицинская пресса, 2006. – 409 с.
4. Жулева Л.Ю., Дубинин Н.П. Использование микроядерного теста для оценки экологической обстановки в районах Астраханской области // Генетика. –1994. – Т. 30. № 7. – С. 999–1004.
5. Ивантер Э.В., Ивантер Т.В., Туманов И.Л. Адаптивные особенности мелких млекопитающих. Л.: Наука, 1985. – 320 с.
6. Иммунологические методы исследования / Отв. ред. И. Лефковитс, Б. Пернис. – М.: Мир, 1988. – 528 с.
7. Исаева Е.И., Вязов О.С. Общая оценка иммунного статуса / Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды. – М., 1996. – С. 54–61.
8. Кузьмин С.Л. Сокращение численности земноводных и проблема вымирания таксонов // Успехи современной биологии. – 1997. – Т.117. Вып.6. – С. 726–731.
9. Леонтьева О.А., Семенов Д.В. Земноводные как биоиндикаторы антропогенных изменений среды // Успехи современной биологии. – 1997. – Т. 111. Вып. 6. – С. 726–736.
10. Меньшиков В.В., Делекторская Л.Н., Золотницкая Р.П. и др. Лабораторные методы исследования в клинике. – М.: Медицина, 1987. – 368 с.
11. Мустафина Ж.Г., Крамаренко Ю.С., Кобцева В.Ю. Интегральные гематологические показатели в оценке иммунологической реактивности организма у больных с офтальмопатологией // Клиническая лабораторная диагностика. – 1999. – № 5. – С. 47–48.
12. Ткаченко Е.А., Дерхо М.А. Лейкоцитарные индексы при экспериментальной кадмиевой интоксикации мышей // Известия ОГАУ. – 2014. – № 3 (47). – С. 81–83.
13. Хайтов Р.М. Иммунология. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 320 с.

14. Черешнев В.А., Шмагель К.В. Иммунология. – М.: Издательский Дом «МАГИСТР-ПРЕСС», 2013. – 448 с.
15. Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. – Свердловск, 1968. – С. 4–6; С. 214–222.
16. Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть VI. / Под ред. Д.Б. Гелашвили. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университета, 2006. – С. 307–327.
17. Fournier M., Robert J., Salo H.M., Dautremepuits C., Brousseau P. Immunotoxicology of amphibians // Appl. Herpetol. – 2005. Vol. 2. – P. 297–309.

ГЛАВА 4. МЕТОДЫ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В целях диагностики состояния лесов, оценки повреждения древостоев вредителями и болезнями, а также в результате антропогенного воздействия, применяются методы лесопатологического мониторинга. В литературе приводятся разные методы лесопатологического мониторинга, которые включают в основном оценку древостоев и степень поврежденности деревьев в баллах, также определяются показатели лесных экосистем: таксационная характеристика древостоев (сомкнутость крон, бонитет, средняя высота и диаметр деревьев по породному составу, возраст древесных пород, наличие и состав подлеска, подраста, проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, мохово-лишайникового покрова и др.). Для расчета лесопатологического состояния древостоев используются формулы, в качестве исходных данных обычно применяются следующие показатели: число стволов на пробной площади или объеме древесины, число обследуемых стволов на круговой площадке. Кроме того, учитываются показатели состояния деревьев по балльной шкале. Для расчета состояния насаждения в целом рассчитывается индекс для всего насаждения с учетом доли каждой древесной породы (Алексеев, 1990).

В статье 60.5 «Государственный лесопатологический мониторинг» Лесного кодекса РФ (2006) приведены основные положения наблюдений за состоянием лесов:

1. Государственный лесопатологический мониторинг представляет собой систему наблюдений (с использованием наземных и (или) дистанционных методов) за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов и за происходящими в них процессами и явлениями, а также анализа, оценки и прогноза изменения санитарного и лесопатологического состояния лесов.

2. Государственный лесопатологический мониторинг является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды).

3. Порядок осуществления государственного лесопатологического мониторинга устанавливается уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.

В статье 60.6 «Лесопатологические обследования» Лесного кодекса РФ (2006) изложен порядок проведения лесопатологических исследований:

1. Лесопатологические обследования проводятся в лесах с учетом данных государственного лесопатологического мониторинга, а также иной информации о санитарном и лесопатологическом состоянии лесов.

2. Лесопатологические обследования проводятся с использованием наземных и (или) дистанционных методов, визуальными и инструментальными способами, обеспечивающими необходимую точность оценки санитарного и лесопатологического состояния лесов.

3. По результатам лесопатологического обследования составляется акт лесопатологического обследования, который утверждается органом государственной власти или органом местного самоуправления в пределах их полномочий, определенных в соответствии со статьями 81-84 настоящего Кодекса, и в срок не позднее трех рабочих дней со дня его утверждения размещается на официальном сайте органа государственной власти или органа местного самоуправления в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" и направляется в форме электронного документа, подписанного усиленной квалифицированной электронной подписью, с использованием единой системы межведомственного электронного взаимодействия или информационно-телекоммуникационных сетей общего пользования, в том числе сети "Интернет", в уполномоченный Правительством Российской Федерации федеральный орган исполнительной власти.

4. Порядок проведения лесопатологических обследований, форма акта лесопатологического обследования устанавливаются уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.

Далее рассмотрим методы проведения лесопатологического мониторинга, предлагаемые разными авторами, а также основные положения государственного лесопатологического мониторинга.

4.1. РАСЧЕТ ИНДЕКСА «ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЯ»

Для проведения диагностики повреждений деревьев и древостоев, оценки их жизненного состояния на пробных площадях и в лесонасаждениях можно использовать методику В.А. Алексеева (1990), основанную на расчетах индексов состояния – L_v (по запасам древостоев) и L_n (с учетом числа деревьев разных категорий состояния) по формулам 4.1 и 4.2.

$$L_v = (100 \times V_1 + 70 \times V_2 + 40 \times V_3 + 5 \times V_4) / V \quad (4.1)$$

где L_v – относительное жизненное состояние древостоя, рассчитанное с учетом крупности деревьев (по объему древесины в m^3); V_1 – объем древесины здоровых деревьев на пробной площади или в пересчете на 1 га; V_2, V_3, V_4 – то же для ослабленных (поврежденных), сильно ослабленных и отмирающих деревьев соответственно (табл. 4.1); 100, 70, 40 и 5 – коэффициенты, выражающие жизненное состояние (в %) здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев; V – общий запас древесины деревьев на пробной площади или на 1 га, включая объем сухостоя.

Для оценки состояния насаждений по индексам жизненности используется следующая шкала: 100–80% – древостой оценивается как «здоровый», при 79–50% – древостой считается ослабленным, при 49–20% – сильно ослабленным, при 19% и ниже – полностью разрушенным.

$$L_n = (100 \times n_1 + 70 \times n_2 + 40 \times n_3 + 5 \times n_4) / N \quad (4.2)$$

где L_n – относительное жизненное состояние древостоя, рассчитанное по числу деревьев каждой породы; n_1 – число здоровых, n_2 – ослабленных, n_3 – сильно ослабленных, n_4 – отмирающих деревьев на пробной площади или в пересчете на 1 га; N – общее число деревьев на пробной площади или на 1 га, включая сухостой.

Таблица 4.1

Шкала категорий жизненного состояния деревьев
по характеристике кроны (по В.А.Алексееву, 1990)

Балл состояния	Категория состояния дерева	Характеристика дерева
1	Здоровое	Деревья не имеют внешних признаков повреждений кроны и ствола. Густота кроны обычная для господствующих деревьев (1-х классов Крафта в случае применимости этой классификации). Мертвые и отмирающие ветви сосредоточены в нижней части кроны; в верхней ее половине крупных отмерших и отмирающих ветвей нет или они единичны и по периферии кроны не видны. Закончившие рост листья и хвоя зеленого или темно-зеленого цвета. Продолжительность жизни хвои типична для региона. Любые повреждения листьев и хвои незначительны (менее 10%) и не сказываются на состоянии дерева.
2	Ослабленное (поврежденное)	Обязателен хотя бы один из следующих признаков: а) снижение густоты кроны на 30(25-40)% за счет преждевременного опадения или недоразвития листьев (хвои) или изреживания скелетной части кроны; б) наличие 30 (25-40) % мертвых и (или) усыхающих ветвей в верхней половине кроны; в) повреждение (объедание, скручивание, ожог, хлорозы, некрозы и т. д.) и выключение из ассимиляционной деятельности 30% всей площади листьев (хвои) насекомыми, патогенами, пожаром, атмосферным загрязнением или по неизвестным причинам. К категории ослабленных (поврежденных) относятся также деревья с одновременным

		наличием признаков „а", „б" и „в" и иными повреждениями (включая ствол и корневые лапы), проявляющимися в меньших размерах, но приводящих к суммарному ослаблению жизненного состояния дерева на 30 %.
3	Сильно ослабленное (сильно поврежденное)	В верхней половине кроны обязателен хотя бы один из следующих признаков: а) снижение густоты облиствения кроны на 60% за счет преждевременного опадения листьев (хвои) или изреживания скелетной части кроны; б) наличие 60% мертвых и (или) усыхающих ветвей; в) повреждение (объедание, скручивание, ожог, хлорозы, некрозы и т. д.) и выключение из ассимиляционной деятельности 60 (50-70) % всей площади листьев (хвои) насекомыми, патогенами, пожаром, атмосферным загрязнением или по неизвестным причинам. К этой категории относятся также деревья с одновременным наличием признаков „а", „б" и „в" и иными повреждениями (включая ствол и корневые лапы), проявляющимися в меньших размерах, но приводящих к суммарному ослаблению жизненного состояния дерева на 60%.
4	Отмирающее	Основные признаки отмирания деревьев: крона разрушена, ее густота менее 15-20% по сравнению со здоровой; более 70% ветвей кроны, в том числе ее верхней половины, сухие или усыхающие. Оставшиеся на деревьях хвоя и листья хлоротичны: они бледно-зеленого, желтоватого, желтого или оранжево-красного цвета. Некрозы имеют белесый, коричневый или черный цвет. В комлевой и средней частях ствола возможны признаки заселения стволовыми вредителями.
5	Сухостой (свежий – текущего года и старый – прошлых лет)	В первый год после гибели на дереве могут быть остатки сухой хвои или неопавших сухих листьев, часто имеются признаки заселения насекомыми-ксилофагами. В дальнейшем постепенно утрачиваются ветви и кора.

Приведенная выше классификация основана на диагностических признаках, каждый из которых достаточен для отнесения дерева к той или иной категории жизненного состояния. Вместе с тем она оставляет возможность использования любых дополнительных частных признаков, которые могут влиять на здоровье дерева.

Необходимо подчеркнуть, что прогнозная ценность использованных в шкале признаков неодинакова. Наименьшей информативностью обладают характеристики повреждения листьев и облиственности крон листопадных видов деревьев, в том числе лиственницы. Эти диагностические признаки характеризуют только текущее состояние дерева; при прекращении воздействия повреждающего фактора они могут существенно измениться уже на следующий год. Повреждение хвои вечнозеленых хвойных пород более длительно сказывается на жизнедеятельности дерева, поскольку наращивание нормального количества (и качества) фотосинтезирующих органов требует нескольких (3–5 и более) лет.

Наиболее информативно для прогнозных оценок состояние ветвей верхней половины кроны дерева. Значительное разрушение кроны вследствие отмирания ветвей требует даже после полного прекращения воздействия вызвавших это явление факторов длительной, иногда десятки лет восстановительной деятельности дерева, причем у особей большинства видов возвращение к первоначальному состоянию здоровья невозможно.

Оптимальное время обследования древостоев — начало второй половины вегетационного периода, когда у большинства видов деревьев закончен рост листьев и побегов (Алексеев, 1990). В качестве примера применения методики В.А. Алексеева для оценки санитарного состояния древостоев приведем данные проведенных исследований в Нижегородской и Владимирской областях. В результате проведенных полевых исследований в зоне влияния проектируемой Нижегородской АЭС на территории Навашинского района Нижегородской области и Муромского заказника Владимирской области заложены 14 стационарных пробных площадей экологического мониторинга. По данным исследований на пробных площадях установлено жизненное состояние древостоев для доминирующих пород (коэффициент состава более 1). Для сосновых древостоев показатель жизненности L_n изменяется в пределах от 82,6 до 92,2%, по показателю L_v — от 86,1 до 94,7%, что соответствует состоянию древостоев — «здоровые». Для ели обыкновенной показатель L_n изменяется в пределах от 82,9 до 96,9%, по показателю L_v — от 85,0 до 95,3%, что соответствует состоянию древостоев — «здоровые». Для березы повислой показатель L_n , соответствующий состоянию древостоев «здоровые» отмечен для 3-х пробных площадей, а «ослабленное» состояние — 77,9% выявлено для пробной площади № 14, что можно объяснить высоким возрастом деревьев (около 90 лет). Аналогично изменяется для березы показатель L_v — от 75,6 — «ослабленные» до «здоровые». Для осины установлен наиболее низкий показатель жизненности древостоев, он изменяется по показателю L_n от 49,9 до 98,5%. Низкие показатели жизненности осиновых древостоев можно объяснить их высоким возрастом — более 70 лет, т.к. в возрасте более 50 лет данная древесная порода сильно подвержена грибным заболеваниям. Аналогично изменяется для осины показатель L_v . Состоя-

ние древостоев березы пушистой по показателю L_n изменяется от «ослабленного» (75,4%) до «здорового». Древостои из дуба черешчатого и ольхи черной оцениваются как «здоровые».

4.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ НАСАЖДЕНИЙ (ИС)

При оценке состояния насаждений их разделяют на три категории: I – устойчивые, что соответствует нахождению лесного биогеоценоза с состоянием устойчивого равновесия; II – насаждения с нарушенной устойчивостью, когда биогеоценоз находится в состоянии неустойчивого равновесия; III – утратившие устойчивость, наблюдается дигрессия биогеоценоза.

В качестве интегрального показателя (Технология защиты леса, 1991, Мозолевская, Шарапа, 2003 и др.) можно использовать индекс состояния насаждений (ИС), с помощью которого удобно учитывать ослабление, усыхание, поврежденность и сохранность лесной среды на основе данных традиционного пересчета деревьев по категориям состояния и ступеням толщины с оценкой пораженности их насекомыми, грибами и другими факторами неблагоприятного воздействия. Данный индекс выражается формулой:

$$ИС = F_D \times P_D \quad (4.3)$$

где F_D – средневзвешенная степень охвоенности (облиственности), P_D – полнота древостоя (показатель сомкнутости крон).

Категории состояния деревьев определяются по набору признаков и (или) по внешнему виду по шестибалльной шкале: от 1-го балла (без признаков ослабления) до 6 балла – сухостой прошлых лет (старый).

По данным перечета распределяют деревья по категориям состояния – сначала по количеству деревьев (N_i , шт.), затем по сумме площадей поперечного сечения их стволов (Q_i). Далее ΣQ_i приравнивают к 10 и для доли деревьев каждой категории подсчитывают их участие (Q'_i как часть от 10).

Далее охвоенность (облиственность) или густоту кроны как меру устойчивости и показатель степени нормального функционирования у наиболее жизнеспособных деревьев первой категории (f_1) оценивают баллом, равным единице ($f_1=1$). А густоту крон деревьев др. категорий (ослабленных, сильно ослабленных и усыхающих) обозначают как долю от единицы, соответственно $f_2=0,8$, $f_3=0,6$, $f_4=0,2$, $f_5=0$, $f_6=0$. Подставляя значения Q' и f в нижеприведенную формулу и определяем средневзвешенную охвоенность (облиственность) древостоя (F_D):

$$F_D = Q'_1 f_1 + Q'_2 f_2 + Q'_3 f_3 + Q'_4 f_4 \quad (4.4)$$

Показатель сомкнутости крон или полноты древостоя (P_D) учитывают при расчете индекса состояния для характеристики сохранности лесной обстановки. Для каждого типа насаждений определенного возраста и в определен-

ных условиях местопроизрастания можно выделить нормальную, свойственную данным обстоятельствам полноту ($P_{\text{норм}}$), которая в общем случае равна 0,7. Тогда средняя полнота может быть охарактеризована как $P_c = 0,6-0,5$, а низкая $P_n = 0,4-0,3$. Соответственно им можно присвоить баллы: $P_1 = 1$, $P_2 = 0,8$, $P_3 = 0,55$ и использовать для оценки сохранности лесной среды (степени использования древостоем площади биотопа).

В дополнение в формулу расчета ИС можно включить ряд коэффициентов, учитывающих следующие обстоятельства: наличие активных патогенов (K_p), поврежденность насекомыми (K_n), продолжающееся действие неблагоприятных факторов среды (K_i).

Индексы состояния насаждений изменяются в диапазоне от 0 до 10 и определяют класс устойчивости древостоя следующим образом:

ИС = 7-10 – насаждения устойчивые (1 класс)

ИС = 4-7 – насаждения с нарушенной устойчивостью (2 класс)

ИС = 0-4 – насаждения, утратившие устойчивость (3 класс).

Рассмотрим на примере городского парка «Швейцария» и лесопарка «Щелоковский хутор» результаты проведения лесопатологического мониторинга с использованием индекса ИС. Индекс состояния на Щелоковском хуторе варьирует от 5,0 – 2-й класс до 10,0 – 1-й класс. Индекс состояния для парка Швейцария варьирует от 4,4 – 2-й класс до 9,6 – 1-й класс. По среднему значению ИС наилучшими являются древесные насаждения Щелковского хутора (8,6 – 1-й класс), ниже значение для парка Швейцария (6,9 – 2-й класс), что связано с разной степенью рекреационной нагрузки: более высокой в городском парке.

4.3. МЕТОДИКА ГОСУДАРСТВЕННОГО ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Государственный лесопатологический мониторинг представляет собой систему наблюдений (с использованием наземных и (или) дистанционных методов) за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов и за происходящими в них процессами и явлениями, а также анализа, оценки и прогноза изменения санитарного и лесопатологического состояния лесов на землях лесного фонда.

Государственный лесопатологический мониторинг (далее – ГЛПМ) является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды).

Целями ГЛПМ являются своевременное обнаружение, анализ, оценка и прогноз изменений санитарного и лесопатологического состояния лесов для осуществления управления в области защиты лесов и обеспечения санитарной безопасности в лесах.

При осуществлении ГЛПМ обеспечивается:

1) сбор информации о состоянии лесов, её хранение, обработка и своевременное доведение до участников лесных отношений;

2) установление причин повреждения (поражения), ослабления и гибели лесов;

3) определение площадей лесных участков, повреждённых, ослабленных и погибших под воздействием неблагоприятных факторов;

4) прогнозирование развития в лесах патологических процессов и явлений, а также оценка их возможных последствий;

5) прогнозирование вспышек массового размножения вредных организмов;

6) оценка санитарного и лесопатологического состояния лесов после проведения мероприятий по защите лесов;

7) подготовка обзоров санитарного и лесопатологического состояния лесов, рекомендаций по обеспечению санитарной безопасности в лесах;

8) информационное обеспечение органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации при планировании и организации проведения мероприятий по защите леса.

Объектами ГЛПМ являются:

1) лесные участки естественного и искусственного происхождения, находящиеся на землях лесного фонда Российской Федерации;

2) участки земель с естественным и искусственным возобновлением леса до перевода их в лесопокрываемые земли;

3) непокрытые лесной растительностью земли, где намечается лесовосстановление или лесоразведение;

4) другие категории лесных земель;

5) опасные для леса вредные организмы, в т.ч. карантинные виды;

6) другие факторы, негативно влияющие на состояние лесных насаждений.

Основными способами осуществления ГЛПМ являются:

1) регулярные наземные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов;

2) выборочные наблюдения за популяциями вредных организмов;

3) дистанционные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов;

4) выборочные наземные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов;

5) инвентаризация очагов вредных организмов;

6) экспедиционные обследования;

7) оценка санитарного и лесопатологического состояния лесов.

Регулярные наземные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов. Основной целью регулярных наземных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов (далее - Регулярные наземные наблюдения) является своевременное обнаружение опасных отклонений в санитарном и лесопатологическом состоянии лесов.

Регулярные наземные наблюдения осуществляются выборочными методами на основе выделения типологических групп лесных участков (стратифи-

кации участков лесного фонда), в которых закладывается сеть постоянных пунктов наблюдения (далее – ППН).

Регулярные наземные наблюдения проводятся во время вегетационного периода, характерного для лесорастительной зоны или лесного района.

Основными таксационными показателями, по которым проводится стратификация, являются:

- 1) главная порода или группа видов, составляющих данную;
- 2) доля главной породы в составе древостоя: смешанное - до 4 единиц состава (СП); с преобладанием главной породы - от 5 до 7 единиц состава (ПП); «чистый» древостой – от 8 до 10 единиц состава (ЧП);
- 3) возрастная группа (группа возраста) древостоя: молодняки (МВ); средневозрастные и приспевающие (ПВ); спелые и перестойные (СВ);
- 4) группа относительной полноты древостоя: низкополнотные - 0,3...0,5 (НП); среднеполнотные - 0,6...0,7 (СП); высокополнотные - 0,8 и более (ВП);
- 5) группа бонитета: низкобонитетные – Va- IV (НБ); среднебонитетные - III- II (СБ); высокобонитетные – I - Ia (ВБ).

Дополнительными таксационными показателями являются происхождение древостоя (естественное или искусственное) и группа типов условий местопроизрастания.

Постоянным пунктом наблюдений (ППН) является часть предварительно выбранного, типичного для страты (типологической группы) таксационного выдела площадью не менее 1 га, привязанного к лесному кварталу, выделу. ППН представляет собой размерную круговую пробную площадь с индивидуальным описанием и маркировкой деревьев основного полога (включая 1, 2 и 3 яруса, если они имеются). ППН закладывается в выбранных при стратификации выделах, с учётом их доступности и, размещением центрального дерева не ближе 50 м от края таксационного выдела. Центром ППН выбирается любое живое дерево первого яруса. В случае изменения границ выделов, при проведении нового лесоустройства, допускается, уменьшение указанного расстояния. Вокруг центрального дерева располагается размерная круговая пробная площадь. Размеры пробной площади определяются конкретными параметрами древостоя, в котором располагается ППН, исходя из минимально-необходимого количества деревьев. Количество живых деревьев главной породы первого яруса на ППН, при его закладке в «чистых» насаждениях или с преобладанием главной породы составляет 50 штук, в смешанных – 30 шт. Минимальное количество живых деревьев главной породы первого яруса (при котором ППН продолжает функционировать) – 30 шт.

Нумерация деревьев на ППН осуществляется по часовой стрелке, начиная от первого дерева. Нумеруются только живые деревья (1-4 категории состояния), но при первом перечёте сухостой фиксируется в учётной карточке. Центральное дерево не нумеруется. Первым номером обозначается дерево, ближайшее в северо-восточном румбе к линии визирования на север от центрального дерева ППН. В случае расположения двух- и более деревьев на такой линии визирования, первым номером обозначается дерево, ближайшее к

центру ППН (рис. 1). При проведении дополнительного отбора деревьев в случае снижении их количества ниже минимального значения продолжается сквозная нумерация деревьев. Отбор деревьев также, начинается в направлении северо-восточного румба и заканчивается в точке, в которой он начинался. При дополнительном отборе деревьев следует выдерживать одинаковый радиус по всей длине окружности ППН. При нумерации вновь отбираемых деревьев запрещено использовать номера усохших деревьев, исключённых из перечётов. Для центрального дерева с помощью спутниковой навигации определяются абсолютные географические координаты в системе WGS-84. Нумерация ППН осуществляется исходя из удобства организации ГЛПМ.

Данные регулярных наземных наблюдений, полученные на ППН, распространяются на всю площадь соответствующей типологической группы (страты), за исключением случаев повреждения насаждений лесными пожарами и сильными ветрами, имеющими ограниченное распространение по территории страты.

Результатом регулярных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов является оценка динамики состояния лесных насаждений по типологическим группам (стратам) для прогноза санитарного и лесопатологического состояния лесов субъектов Российской Федерации и России в целом. Оценка динамики состояния лесных насаждений проводится путём анализа временных рядов значений, средневзвешенных значений категорий санитарного состояния насаждений, доли текущего отпада, доли деревьев 2–3 категорий санитарного состояния, доли повреждённых деревьев, полученных на ППН.

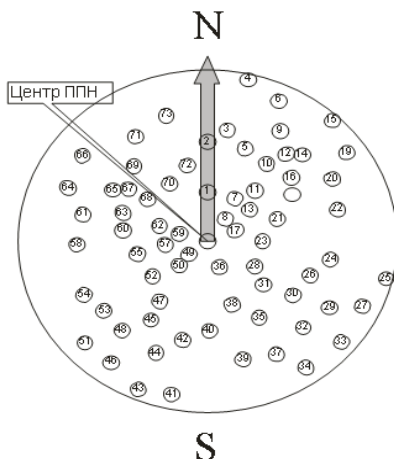


Рис. 4.1. Схема нумерации деревьев на ППН

Оценка санитарного состояния деревьев проводится по семибалльной шкале (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Шкала категорий состояния деревьев

Категория состояния дере- вьев	Внешние признаки деревьев	
	хвойные	лиственные
1 - здоровые (без признаков ослабления)	крона густая (для данной породы, возраста и усло- вий местопроизрастания); хвоя (листва) зеленая; прирост текущего года нормального размера	
2 - ослабленные	крона разреженная; хвоя светло- зеленая; прирост уменьшен, но не более чем наполовину; от- дельные ветви засохли	крона разреженная; листва светло-зеленая; прирост уменьшен, но не более чем наполовину; отдельные ветви засохли; единичные водяные побеги
3 - сильно ослаб- ленные	крона ажурная; хвоя светло- зеленая, матовая; при- рост слабый, менее половины обычного; усыхание ветвей до 2/3 кроны; плодовые тела трутовых грибов или характерные для них дупла	крона ажурная; листва мелкая, светло- зеленая; прирост слабый, менее половины обычного; усыхание ветвей до 2/3 кроны; обильные водяные побеги; плодовые тела тру- товых грибов или харак- терные для них дупла
4 - усыхающие	крона сильно ажур- ная; хвоя серая, жел- товатая или желто- зеленая; прирост очень слабый или от- сутствует; усыхание более 2/3 ветвей	крона сильно ажурная; листва мелкая, редкая, светло-зеленая или желто- ватая; прирост очень сла- бый или отсутствует; усы- хание более 2/3 ветвей
5 - свежий сухо- стой	хвоя серая, желтая или красно- бурая; кора частично опала	листва увяла или отсут- ствует; ветви низших по- рядков сохранились, кора частично опала
5 ^a - свежий вет- ровал	хвоя зеленая, серая, желтая или красно- бурая; кора обычно живая, ствол повален или наклонен с обры- вом более 1/3 корней	листва зеленая, увяла, либо не сформировалась; кора обычно живая, ствол пова- лен или наклонен с обры- вом более 1/3 корней

5 ^б - свежий бурелом	хвоя зеленая, серая, желтая или красная; кора ниже слома обычно живая, ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны	листва зеленая, увяла, либо не сформировалась; кора ниже слома обычно живая, ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны
6 - старый сухой	живая хвоя (листва) отсутствует; кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью; стволовые вредители вылетели; в стволе мицелий дереворазрушающих грибов, снаружи плодовые тела трутовиков	
6 ^а - старый ветровал	живая хвоя (листва) отсутствует; кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью; ствол повален или наклонен с обрывом более 1/3 корней; стволовые вредители вылетели	
6 ^б - старый бурелом	живая хвоя (листва) отсутствует; кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью; ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны; стволовые вредители выше места слома вылетели; ниже места слома могут присутствовать: живая кора, водяные побеги, вторичная крона, свежие поселения стволовых вредителей	
7 - аварийные деревья	деревья со структурными изъянами (наличие дупел, гнилей, обрыв корней, опасный наклон), способными привести к падению всего дерева или его части и причинению ущерба населению или государственному имуществу и имуществу граждан	

Выборочные наблюдения за популяциями вредных организмов. Задачей выборочных наблюдений за популяциями вредных организмов является сбор данных о состоянии популяций вредных организмов, оценка численности вредителей и распространённости болезней на начальных стадиях развития очагов и в межвспышечный период, определение момента выхода популяции из депрессии и, в совокупности с другими материалами ГЛПМ - прогноз угрозы повреждения лесов.

Выборочные наблюдения за популяциями вредных организмов проводятся рекогносцировочными, детальными методами. Целью выборочных рекогносцировочных наблюдений является своевременное обнаружение признаков возникновения очагов вредных организмов, степени поражения деревьев, а также факта появления чужеродных организмов (инвазивных видов или видов-инвайдеров). Выборочные рекогносцировочные наблюдения за популяциями вредных организмов (далее - ВРН) осуществляются за видами вредных орга-

низмов, способных резко увеличивать численность или распространённость в насаждениях, испытывавших стрессовое воздействие негативных факторов (лесные пожары, засуха, сильные ветры, повреждение хвое-листогрызущими вредителями, антропогенное воздействие, интенсивные рубки насаждений), а также за инвазивными видами.

Выборочные рекогносцировочные наблюдения проводятся путём визуального осмотра насаждений или выборочных детальных наблюдений – путём учёта вредных организмов на постоянных пунктах учёта (далее – ППУ), расположенных на постоянных маршрутных ходах (далее – ПМХ). При возможности ППУ располагают в участках размещения ППН.

Постоянный пункт учёта (ППУ) – это лесной участок (выдел) площадью не менее 0,5 га, на котором ведутся наблюдения за изменением численности популяций и развитием вредителей и энтомофагов при детальных наблюдениях. ППУ располагаются на расстоянии не менее 50 м от дорог, квартальных просек, разрывов, служащих ориентирами маршрутного хода.

При проведении выборочных рекогносцировочных наблюдений осматриваются лесные участки:

- 1) повреждённые лесными пожарами и сильными ветрами средней и слабой степени;
- 2) подверженные воздействию повторяющейся засухи;
- 3) поражённые болезнями леса в средней и сильной степени;
- 4) подверженные воздействию антропогенных факторов (рекреационные нагрузки, промышленные выбросы);
- 5) повреждённые хвое-листогрызущими вредителями в сильной и сплошной степени;
- 6) граничащие с насаждениями, повреждёнными лесными пожарами и сильными ветрами в сильной степени;
- 7) граничащие с лесосеками площадью более 1 га;
- 8) с избыточным увлажнением;
- 9) пригодные для появления очагов вредителей корней, молодняков и лесных культур, плодов и семян;
- 10) пригодные для развития очагов хвое-листогрызущих вредителей, в том числе расположенных за пределами их ареала;
- 11) в которых возможно возникновение очагов болезней, способных привести к их гибели.

БРН за популяциями вредных организмов на маршрутных ходах проводятся 1 раз в вегетационный период, когда признаки наличия вредных организмов проявляются наиболее ярко, выборочные детальные наблюдения 2 раза: весной (или летом) по вредящей стадии вредителей и, осенью по зимующему запасу. При низкой численности популяций вредных организмов работы проводятся только в осенний период по зимующему запасу.

При проведении БРН за популяциями стволовых вредителей и распространением болезней леса при движении по маршруту рекогносцировочного наблюдения закладывается временная пробная площадь по непроверенной ли-

нии с осмотром 100...150 деревьев с указанием наименования вредителя, признаков поселения ксилофагов (ажурность кроны (дефолиация), дехромация хвои-листвы, потёки живицы, буровая мука, попытки поселения, насечки, уходы в древесину, вентиляционные и выходные отверстия; язвы, раковые раны, потеки и пр.). Для сосновых лубоедов дополнительно закладываются площадки на подстилке площадью 1 м² для учёта «стрижки» побегов.

При проведении ВРН за популяциями вредителей корней, молодняков и культур, плодов и семян на ППУ осматривается 100 деревьев (деревцев) с указанием их повреждения.

При проведении ВРН за популяциями хвое-листогрызущих вредителей осматривается 100 деревьев с отметкой о повреждении ассимиляционного аппарата, наличии гнёзд гусениц, гусениц и (-или) личинок и указанием вида вредителя.

С целью определения состояния популяции вредителя материал, собранный при всех учётах (яйцекладки, личинки, гусеницы, коконы, куколки), анализируется на заражённость паразитами и болезнями, поврежденность хищниками, а также на диапаузу. Вычисляются количественные (абсолютная и относительная заселённость насаждений, коэффициенты размножения, расселения и нарастания вспышки) и качественные (вес куколок, коконов, гнёзд, яйцекладок, соотношение полов, плодовитость, масса куколок, число яиц в кладках, масса кладок, соотношение зонимф и пронимф, заражённость паразитами и болезнями и другие показатели развития и распространения насекомых).

Для определения основных показателей размножения стволовых вредителей (встречаемость, район поселения на дереве, плотность поселения, продукция, энергия размножения, плодовитость, поражённость паразитами, хищниками и болезнями) проводится анализ заселённых модельных деревьев из расчёта, не менее трёх на пробную площадь.

Данные выборочных рекогносцировочных и детальных наблюдений дополняются результатами наземных выборочных и дистанционных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов.

Результатом выборочных наблюдений за популяциями вредных организмов является Сводная ведомость результатов детального надзора за вредителями леса.

Дистанционные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов. Дистанционные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов в рамках государственного лесопатологического мониторинга осуществляются в соответствии с разделом VIII приказа Минприроды России от 05.04.2017 г. N 156 "Об утверждении Порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.06.2017 г. N 47257).

В Нижегородской области дистанционные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов не проводятся.

Выборочные наземные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов. Основной задачей выборочных наземных наблюде-

ний за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов является сбор информации о санитарном состоянии участков леса (степень ослабления, усыхания) и (или) их лесопатологическом состоянии (степень повреждения (поражения) вредными организмами). Полученная информация характеризует лесные участки определённой площади и местоположения.

Выборочные наземные наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов (далее – выборочные наблюдения за состоянием лесов) планируются и проводятся в случаях:

- 1) выявления на ППН, ППУ численности вредителей, способной создать угрозу жизнеспособности насаждений;
- 2) выявления на ППН или ППУ опасных отклонений в санитарном состоянии;
- 3) необходимости проверки и уточнения информации, полученной с помощью дистанционных методов;
- 4) верификации материалов дистанционных наблюдений;
- 5) необходимости проверки информации о повреждении лесов для включения участков в Реестры ГЛПМ;
- 6) необходимости натурной проверки достоверности актов лесопатологического обследования;
- 7) оценки санитарного и лесопатологического состояния лесов после проведения мероприятий по защите лесов, в том числе в составе комиссий, сформированных Департаментами лесного хозяйства по федеральному округу и Рослесхозом.

В первую очередь выборочные наблюдения за состоянием лесов проводятся в насаждениях ценных древесных пород, защитных лесах, участках лесных насаждений, расположенных в зонах техногенного загрязнения, пострадавших от стихийных бедствий и опасных погодных явлений, пожаров, вредных организмов и других негативных воздействий природного и антропогенного характера.

Протяжённость маршрутного хода составляет от 6 до 20 км на каждые 1000 га обследуемого лесного участка с учётом необходимости захода во все подлежащие осмотру участки.

При проведении выборочных наземных наблюдений по маршрутным ходам, маршрутами охватываются насаждения всей страты (типологические группы) в которой они обнаружены, вся площадь насаждений, заселённая вредными организмами. Расстояние между маршрутными ходами зависит от площади обследуемого лесного участка и однородности его характеристик и может изменяться от 100 м до 10 км. На основе экстраполяции данных, полученных при определении санитарного и лесопатологического состояния насаждений в выделах, которые пересекает маршрутный ход, оценивается состояние всего повреждённого участка лесных насаждений. Размеры экстраполяции не должны превышать 30 % площади страты или повреждённого участка лесных насаждений в зоне сильной лесопатологической угрозы, 50 % - в зонах средней и слабой угрозы.

При проведении выборочных наземных наблюдений за состоянием лесов в отдельных выделах проводится определение состояния лесных насаждений конкретного выдела или его части (лесопатологического выдела) или группы выделов.

Выборочные наземные наблюдения за состоянием лесов осуществляется визуальными методами по типичным признакам повреждения древостоев, наличию признаков заселения их вредителями и заражённости болезнями, частичному или полному усыханию деревьев, другим характерным признакам неблагополучного состояния лесных насаждений путём глазомерного распределения запаса деревьев всех пород, входящих в состав насаждения, по категориям состояния деревьев (в соответствии Правилами санитарной безопасности в лесах, утверждёнными Постановлением Правительства Российской Федерации от 20.05.2017 № 607 (собрание законодательства Российской Федерации от 2017 № 23, ст. 3318), а также определения степени повреждения деревьев и причин ослабления насаждения в целом. По результатам выборочных наземных наблюдений рекомендуются санитарно-оздоровительные мероприятия, направленные на улучшение санитарного состояния насаждений.

Степень повреждения крон деревьев хвое- и листогрызущими насекомыми (дефолиация) определяется глазомерно в процентах для каждой породы и в среднем для всего заражённого участка, с указанием вида и фазы развития вредителя, присутствующей в период проведения наблюдений. Для личинок (гусениц) указывают их возраст. Слабой является дефолиация с потерей хвои (листьев) до 25 %, средней – 26-49 %, сильной – 50-75 %, сплошной – более 75 %.

При неоднородности санитарного и лесопатологического состояния лесного участка (таксационного выдела) выделяется и описывается его часть, обладающая однородными санитарными и (или) лесопатологическими характеристиками (далее - лесопатологический выдел). Минимальная площадь лесопатологического выдела в зоне сильной лесопатологической угрозы - 0,1 га; в зоне средней лесопатологической угрозы - 0,5 га; в зоне слабой лесопатологической угрозы - 1 га. При повреждении части лесотаксационного выдела и выделении лесопатологического выдела, выборочные наблюдения проводятся на всей площади лесотаксационного выдела с характеристикой всех лесопатологических выделов, включая неповреждённые.

Для уточнения данных глазомерной оценки состояния насаждений при проведении выборочных наземных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов или при затруднениях в глазомерном распределении деревьев каждой породы по категориям состояния насаждений может проводиться ленточный пересчёт 30...50 деревьев основной породы по непроवेशенной линии или закладка реласкопических площадок равномерно по площади лесного участка. Фиксация пробной площади и постановка столбов в этом случае не требуются.

Результатом выборочных наземных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов является определение средневзвешенной кате-

гории состояния, размера текущего отпада, степени повреждения (поражения) насаждений и остаточной полноты после уборки деревьев, подлежащих рубке.

Средневзвешенная категория насаждений рассчитывается на основании средневзвешенной категории состояния каждой породы и доли её участия в составе насаждения по его запасу. Степень повреждения насаждений рассчитывается для каждой породы и для насаждения в целом с учётом её участия в составе насаждения.

В случае выявления на участке фактов частичного усыхания (повреждения) насаждений, отмечается характер усыхания. Критерием для определения характера усыхания (повреждения) насаждений является размещение сухостойных (повреждённых) деревьев:

- 1) единичное – сухостойные и повреждённые деревья встречаются на обследуемом лесном участке в виде отдельных деревьев;
- 2) групповое – сухостойные и повреждённые деревья встречаются группами до 10 деревьев;
- 3) куртинное – усыхание куртинами до 0,10 га;
- 4) сплошное – усыхание деревьев и повреждение их болезнями охватывает сплошь участки площадью более 0,10 га.

Наличие вредителей на разных фазах развития и следов их деятельности обнаруживается визуально осмотром крон деревьев, отдельных ветвей, стволов, лесной подстилки.

В очагах хвое-листогрызущих вредителей выборочные наземные наблюдения с целью определения санитарного состояния проводятся только после восстановления ассимиляционного аппарата (для весенней группы вредителей - в конце вегетационного периода, для летней и осенней – на следующий год). В древостоях с наличием дефолиации приводят только распределение деревьев по степеням объедания.

Результаты выборочных наземных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов включаются в реестр лесных участков, занятых повреждёнными и погибшими лесными насаждениями, в реестр лесных участков, на которых рекомендуется проведение мероприятий по защите лесов, и (или) в реестр лесных участков, на которых действуют очаги вредных организмов, отнесённых к карантинным объектам и реестр лесных участков, на которых действуют очаги вредных организмов, не отнесённых к карантинным объектам.

Результаты выборочных наземных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов используются для подготовки Обзоров санитарного и лесопатологического состояния лесов субъектов Российской Федерации и в целом по России, прогноза санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации, а также, при необходимости, предоставляют-ся в органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченных в области лесных отношений, для подготовки Обоснований проведения мероприятий по уничтожению или подавлению численности вредных организмов.

Инвентаризация очагов вредных организмов. Инвентаризация очагов вредных организмов проводится на всей территории земель лесного фонда Российской Федерации, находящихся в ведении Федерального агентства лесного хозяйства.

Задачей инвентаризации очагов вредных организмов является ежегодный учёт действующих, возникших и затухших очагов, прогноз изменения численности вредных организмов, повреждения насаждений и рекомендации для проектирования мероприятий по их ликвидации.

Инвентаризация очагов вредных организмов осуществляется комплексными камеральными и полевыми методами. В полевых условиях проводятся учёт численности (концентрации) вредных организмов, в камеральных - анализ данных ГЛПМ (данные инвентаризации очагов вредных организмов прошлого и текущего года, результаты выборочных наблюдений за популяциями вредных организмов, выборочных наземных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов, данных ДН, данных исполнительных органов субъектов Российской Федерации, уполномоченных в области лесных отношений (результаты обследования очагов вредных организмов и учёта эффективности мероприятий по уничтожению или подавлению численности вредителей), камеральное списание очагов на основании особенностей их биологии.

Очагом вредных организмов является группа заселённых участков насаждений, расположенных в пределах соседних лесотаксационных выделов, имеющих общую непрерывную внешнюю границу распространения вредителя или болезни.

Учёт численности (концентрации) вредных организмов в полевых условиях осуществляется путём анализа модельных деревьев, ветвей или анализа данных, полученных в результате учёта вредителей в лесной подстилке или в почве. Способы учётов выбираются в зависимости от вида вредителя и фазы его развития, количество единиц учёта (моделей, площадок в подстилке и т.п.) – от численности популяции и встречаемости вредных организмов на заселённой территории.

Очагом хвое- и листогрызущих насекомых является лесной участок (лесной массив), заселённый вредителем в любой фазе его развития в численности:

- 1) повлекшей повреждение крон деревьев или угрожающей им повреждением в текущем или следующем году на 25 % и более (в смешанном древостое – в пересчёте на насаждение);
- 2) угрожающей выполнению насаждением целевых функций (например, повреждение пилильщиком еловым обыкновенным культур ели, выращиваемых на семенной плантации);
- 3) угрожающей жизнеспособности древесных или кустарниковых пород, включённых в региональные Красные книги или Красную книгу Российской Федерации при любом участии в составе насаждения.

Результаты инвентаризации очагов вредных организмов являются основой для разработки и планирования мероприятий по ликвидации очагов вредных организмов.

Экспедиционные обследования. Целью экспедиционных обследований является определение санитарного и лесопатологического состояния лесов на значительных площадях в труднодоступных в течение вегетационного периода районах, а также в районах со сложной лесопатологической обстановкой, наличием очагов массового размножения опасных вредителей леса.

Экспедиционные обследования проводятся наземным или авиадесантным способом выборочным методом, в площадь экспедиционного обследования включаются как повреждённые или ослабленные насаждения, так и прилегающие лесные участки.

Минимальная площадь наземных экспедиционных обследований составляет 50000 га. Минимальная площадь авиадесантных экспедиционных обследований – 500000 га. На территории Нижегородской области экспедиционные обследования до настоящего времени не проводились.

Оценка санитарного и лесопатологического состояния лесов. Оценка санитарного и лесопатологического состояния лесов проводится на всей территории земель лесного фонда Российской Федерации, находящейся в ведении Федерального агентства лесного хозяйства.

Оценка санитарного и лесопатологического состояния лесов осуществляется в целях:

- 1) ведение базы данных здоровых, ослабленных, повреждённых и погибших лесных насаждений;
- 2) ведения реестра лесных участков, занятых повреждёнными и погибшими лесными насаждениями;
- 3) реестра лесных участков, в которых рекомендуются мероприятия по защите лесов;
- 4) определения санитарного и лесопатологического состояния насаждений после проведения мероприятий по защите лесов (влияние проведённых мероприятий по защите леса на состояние насаждений);
- 5) определения достоверности прогнозов санитарного и лесопатологического состояния лесов.

Материалы для оценки влияния проведённых мероприятий по защите леса на состояние насаждений собираются в процессе следующих мероприятий:

- 1) участия в работе комиссий, сформированных уполномоченными органами исполнительной власти;
- 2) проведения выборочных наземных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов и других элементов ГЛПМ;
- 3) анализа данных лесного реестра, лесного плана, проекта освоения лесов и лесопатологических обследований.

Осуществление данной функции проводится представителями организации, которой делегированы полномочия по осуществлению государственного лесопатологического мониторинга, в рамках выборочных наземных наблюде-

ний за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов. Данные оценки влияния проведения мероприятий по защите лесов на состояние насаждений используются для оценки эффективности мероприятий по защите лесов в субъекте Российской Федерации

Эффективность мероприятий по защите лесов определяется путём расчёта следующих показателей:

- 1) удельная площадь земель лесного фонда, покрытых лесной растительностью, погибшая от пожаров;
- 2) удельная площадь земель лесного фонда, покрытых лесной растительностью, погибшая от вредителей и болезней;
- 3) соответствие мест и объёмов проведения лесопатологических обследований реестру ослабленных, повреждённых и погибших лесных участков;
- 4) соответствие мест и объёмов проведения санитарно-оздоровительных мероприятий реестру лесных участков, в которых рекомендованы мероприятия по защите лесов.

Результаты ГЛПМ собираются и хранятся в виде электронных документов в распределённой базе данных, обеспечивающей хранение и периодическое резервное копирование информации, и реестров государственного лесопатологического мониторинга в соответствии с п. 10 Порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга, утверждённого приказом Минприроды России от 05.04.2017 №156 (зарегистрирован в Минюсте России 30.06.2017, регистрационный номер № 47257).

Обзоры санитарного и лесопатологического состояния лесов (далее – Обзоры) составляются с включением фактических цифровых данных, характеризующих результаты ГЛПМ в виде таблиц, схем, графиков и текстового анализа, прогноза лесопатологической ситуации ежегодно до 1 мая года, следующего за отчётным, для насаждений всех субъектов Российской Федерации и по России в целом. Обзоры доводятся до уполномоченных органов исполнительной власти.

По результатам исследований состояния лесов специалистами центра защиты леса Нижегородской области ФБУ «Российский центр защиты леса» по состоянию на начало 3-го квартала 2016 года на территории Нижегородской области установлена площадь поврежденных насаждений объемом 195710,1 га. Развитие негативных и деструктивных процессов, в первую очередь, прогнозируется на территориях, пройденных ветровалами и буреломами. На этих участках следует прогнозировать резкую вспышку стволовых вредителей короеда-типографа, еловых и сосновых усачей.

Общая площадь частично усыхающих насаждений на территории Нижегородской области составляет 3115,7 га. Наибольшее частичное усыхание насаждений наблюдается на территориях, пройденных лесными пожарами 4-10 летней давности в таких лесничествах как Вачское районное (1006,5 га), Арзамасское районное (251,5 га), Кулебакское районное (154,7 га). На данных территориях можно прогнозировать значительное количество стволовых вредите-

лей, в первую очередь короёда-типографа, соснового и елового усачей, а также большого и малого соснового лубоеда.

Частично усыхают насаждения в результате первичного заселения вредителем короёдом-типографом. Наибольшие площади с этой причиной ослабления находятся в Семеновском районном лесничестве (467,7 га), Арзамасском районном лесничестве (281,7 га), Борском районном лесничестве (249,5 га), Михайловском районном лесничестве (195 га). Поскольку на этих территориях еще присутствует кормовая база вредителя и есть риск увеличения его численности, то все эти территории рекомендованы к проведению выборочных санитарных рубок.

Общая площадь погибших насаждений на территории Нижегородской области составляет 146935,3 га. Основную ее долю составили лесные пожары в таких лесничествах как Михайловское межрайонное (48363 га), Арзамасское районное (716,6 га). Так же значительные территории насаждений погибли от погодных условий (ветровалы и буреломы). Общая площадь ослабленных насаждений территории Нижегородской области составляет 45659,1 га. Основными причинами ослабления здесь выступают лесные пожары, повреждение смоляным раком, влияние непатогенных факторов, трутовики. По результатам выборочных наземных наблюдений за лесопатологическим состоянием в 2016 году было установлено в Лысковском межрайонном лесничестве действие очага дубовой зеленой листовёртки с объеданием листвы 30 % на территории 95 га. В Выксунском районном лесничестве действует очаг рыжего соснового пилильщика площадью 47,5 га с объеданием 30 %. На данных территориях в виду благоприятных погодных условий и наличию кормовой базы прогнозируется дальнейшее распространение очага в этих насаждениях.

Литература

1. Алексеев В.А. Глава 4. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: «Наука» Ленинградское отделение, 1990. – С. 38–54.
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 г. № 200-ФЗ.
3. Мозолевская Е.Г., Шарапа Т.В. Некоторые результаты применения индекса состояния насаждений при мониторинге // Лесной вестник. – 2003. – № 2. – С. 142–145.
4. Постановление Правительства России от 20.05.2017 г. № 607 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах».
5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии России от 12.09.2016 г. № 470 «Об утверждении Правил осуществления мероприятий по предупреждению распространения вредных организмов».
6. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии России от 16.09.2016 г. № 480 «Об утверждении Порядка проведения лесопатологического обследования и формы акта лесопатологического обследования».

7. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии России от 05.04.2017 г. № 156 «Об утверждении Порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга».

8. Технология защиты леса / под ред. А.И. Воронцов, Е.Г. Мозолевская, Э.С. Соколова. – М.: Экология, 1991. – 304 с.

ГЛАВА 5. МЕТОДЫ БИОРЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Малые водоемы и водотоки являются неотъемлемым компонентом экологического каркаса города: служат экологическими резерватами и экологическими коридорами, выполняют эколого-санитарные и рекреационные функции. В условиях мегаполиса водные объекты испытывают многофакторное хозяйственно-бытовое, автотранспортное и промышленное загрязнение, изменения гидрологического режима в результате трансформации поверхностного стока и грунтовых вод, а также нарушений природного ландшафта береговых зон. Основным путем поступления загрязнения является рассеянный поверхностный сток, содержащий коммунально-бытовые и дренажные сточные воды урбанизированной территории.

Биоремедиация (биореабилитация) вод – это комплекс биологических методов и технологий очистки сточных вод и загрязненных водных объектов с использованием экосистемных функций биологического самоочищения.

5.1. УЧАСТИЕ ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В САМООЧИЩЕНИИ ВОДЫ

Под самоочищением вод понимается комплекс химических, физических и биологических процессов в экосистеме водоёма, в результате которых состав воды приближается к первоначальному состоянию (Кокин, 1982; Садчиков, Кудряшов, 2005).

Самоочищение водоёмов главным образом обеспечивается совокупной деятельностью высших водных растений, микроводорослей, сапрофитных бактерий, простейших и беспозвоночных животных с фильтрационным типом питания (Морозов, 2001; Садчиков, Кудряшов, 2005; Остроумов, 2016).

В число основных биологических процессов, участвующих в самоочищении воды, входят (Остроумов, 2016):

- 1) поглощение биогенов и органических веществ;
- 2) извлечение загрязняющих веществ из толщи воды;
- 3) аккумуляция токсических веществ, их распределение в водных организмах;
- 4) биodeградация токсических веществ;
- 5) образование кислорода, необходимого для окислительной биodeградации;
- 6) фильтрация воды;
- 7) продуцирование экзометаболитов;

8) образование фекальных пеллет и детрита, их седиментация на дно водоема.

Высшие водные растения (*ВВР*) в комплексе с перифитоном выполняют следующие экологические и санитарные функции в водоемных экосистемах (Дикиева, Петрова, 1983; Садчиков, Кудряшов, 2005; Макеев, Коротаева, Голикова, 2016):

1) газовую (насыщают воду кислородом днем и двуокисью углерода ночью);

2) окислительно-деструкционную (окисляют органические вещества, способствуя их деструкции и минерализации);

3) фильтрационно-седиментационную (способствуют улавливанию и осаждению органических и минеральных взвешенных частиц);

4) ассимиляционно-аккумуляционную (поглощают, ассимилируют и накапливают биогенные элементы, тяжелые металлы и некоторые органические вещества);

5) детоксикационную (иммобилизуют токсичные вещества и преобразуют их в малодоступную нетоксичную форму);

6) экзометаболическую (продуцируют и выделяют в атмосферу и воду биологически активные вещества: фитонциды и стимуляторы роста);

7) илонакопительную (образуют детрит и способствуют накоплению органических веществ в донных отложениях);

8) экотопическую (создают пищевые ресурсы, временные убежища и постоянные местообитания для перифитонных и фитофильных видов гидробионтов, участвующих в самоочищении воды).

Водные макрофиты – основное автотрофное звено биологического круговорота веществ в малых мелководных водоемах и водотоках, благодаря которому создаются благоприятные условия для процессов самоочищения водной экосистемы.

Высшая водная растительность является важным средообразующим фактором. В зарослях прибрежно-водных растений развивается фитофильная микробиота, активно участвующая в самоочищении воды; перифитонные и бентосные беспозвоночные потребляют детрит и сапрофитных бактерий и простейших. Под влиянием всех этих процессов повышается прозрачность воды, снижается минерализация воды и количество промежуточных продуктов распада органического вещества (Кокин, 1982; Садчиков, Кудряшов, 2005).

Поглощение и очищение загрязненного поверхностного стока полосами околотовной, прибрежно-водной и погруженной водной растительности улучшает санитарно-экологическое состояние малых городских водоемов и водотоков, что позволяет использовать насаждения из макрофитов в целях биоремедиации водоемов. Поэтому изучение экологических условий, пространственного размещения, количественного развития и видовой структуры сообществ макрофитов является актуальной задачей современной урбоэкологии и прикладной гидроэкологии.

Гидрофиты, осуществляя подводный фотосинтез, формируют аэробную водную среду с высоким окислительным потенциалом и биохимической активностью биодеструкционных процессов, регулируют pH и солевой состав вод, образуют активно сорбирующую субстратную поверхность для сапрофитной и нитрифицирующей микрофлоры, выделяют в воду активные метаболиты, которые стимулируют деструкцию нефтепродуктов и других органических загрязнителей (Морозов, 2001).

В зоне массового развития ВВР увеличивается скорость фильтрации и седиментации взвесей. Прибрежно-водная растительность в комплексе с фильтраторами (двустворчатыми моллюсками и ракообразными) играет роль механического фильтра. В Волгоградском водохранилище двустворчатые моллюски (при численности порядка 650 экз./м²) за вегетационный период отфильтровывают около 840 млрд. м³ воды. При этом они извлекают из толщи воды 96 млн. тонн взвешенных веществ, около 1/3 которых осаждаются на дне (Кондратьева, 1970 цит. по: Садчиков, Кудряшов, 2005). Ракообразные способны за несколько суток профильтровать полный объем малого водоема (Гутельмахер, Садчиков, Филиппова, 1988).

Большинство широко распространенных видов ВВР могут эффективно поглощать и ассимилировать комплекс растворенных и взвешенных в воде загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, радионуклиды, нефтепродукты, пестициды и синтетически поверхностно-активные вещества, входящие в состав промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Активное поглощение пестицидов связано с полной или частичной биотрансформацией этих соединений в растениях. Поглощение высшей водной растительностью токсических веществ и их аккумуляция, особенно в корневой системе, способствует самоочищению водоема путем исключения токсических агентов из круговорота веществ (Морозов, 2001; Садчиков, Кудряшов, 2005).

Выявлена важная роль прибрежно-водной растительности в очистке вод от биогенных соединений: фосфатов, нитратов, сульфатов, тяжелых металлов, радиоактивных элементов и ароматических кислот (Кокин, 1982; Садчиков, Кудряшов, 2005). Установлено, что ВВР принимает активное участие в детоксикации многих опасных загрязняющих веществ, таких как фенолы, нефтепродукты, пестициды, поверхностно-активные вещества. Разложение нефтепродуктов в присутствии гидрофитов протекает в 3–5 раз быстрее. В связи с этим рациональным методом очистки бытовых и промышленных стоков является высаживание околоводных, прибрежно-водных и погруженных растений (Морозов, 2001; Садчиков, Кудряшов, 2005).

Конкуренция за биогенные элементы и антагонизм прибрежно-водной растительности с водорослями признается эффективным способом борьбы с цветением водоемов. Кроме того, прибрежно-водная растительность уменьшает бактериальное загрязнение водоемов (Кокин, 1982; Лукина, Смирнова, 1988; Садчиков, Кудряшов, 2005; Кирпенко, Усенко, 2012).

Велика роль ВВР в процессе поглощения и накопления минеральных форм фосфора и азота, поступающих в водотоки со стоком с сельскохозяйственных

удой и селитебных зон водосбора. Этим растениям присуща избирательная способность в поглощении азота, фосфора, калия и других элементов. Наибольшая интенсивность поглощения макрофитами минеральных веществ наблюдается в период развития и усиленного роста. Азот и фосфор аккумулируются почти всеми растениями в равной степени. Остальные биогены поглощаются и накапливаются растениями неодинаково (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Накопление биогенных элементов высшими водными растениями
(% на сухое вещество) (Логонова, Лопух, 2011)

Вид растения	Минеральные элементы в форме ионов						
	N	P	K	Ca	Mn	Na	Cl
Тростник обыкновенный	2,17	0,35	1,70	0,38	0,10	0,14	1,36
Рогоз узколистый	2,52	0,41	1,19	1,07	0,15	0,51	1,20
Камыш озерный	2,34	0,39	2,37	0,89	0,12	0,40	1,56
Сусак зонтичный	2,66	0,40	4,36	1,36	0,21	0,43	1,17
Частуха подорожниковая	2,09	0,55	2,89	1,20	0,16	0,36	1,87
Рдест пронзеннолистный	2,02	0,53	2,01	0,95	0,33	0,33	1,55

У большинства видов макрофитов из более загрязненных местообитаний обнаружено повышенное содержание в листьях зольных элементов. В среднем это увеличение составляло 30 %, а в отдельных случаях отмечено двукратное повышение данного показателя. Это объясняется более интенсивной аккумуляцией веществ макрофитами при увеличении их концентрации в воде (Чукина, 2010).

Наибольшая интенсивность поглощения и аккумуляции биогенов наблюдается в начале вегетации и в конце лета, обычно в августе. Осенью содержание биогенных элементов в надземных частях растений резко снижается. Межвидовое различие по содержанию биогенных веществ в течение вегетационного сезона объясняется видовой спецификой обмена веществ и особенностями фенологического развития растений (Логонова, Лопух, 2011). Интенсивное развитие прибрежно-водной растительности приводит к её массовому отмиранию и разложению осенью, что вызывает вторичное загрязнение вод гниющими растительными остатками и ускоряет эвтрофикацию водоемов. (Садчиков, Кудряшов, 2005). Поэтому в санитарных целях необходимо в конце вегетационного периода выкашивать и убирать из водоема погруженную и полуводную растительность.

Большое значение имеет наличие у некоторых гидрофитов водных корней. У тростника они образуются под водой в узловых побегах; их общая поверхность может в 10–15 раз превышать площадь, занимаемую растениями. В лабо-

раторных экспериментах заросли тростника и рогоза удерживали водными корнями до 98% соединений азота и фосфора, содержащихся в животноводческих стоках (Садчиков, Котелевцев, 2013).

Активное участие гидрофитов в процессах ассимиляции биогенных элементов и минерализации растворенного и взвешенного в воде органического вещества позволяет использовать их для борьбы с «цветением» воды (Кокин, 1982; Садчиков, Кудряшов, 2005). Органические соединения (растворимые и взвешенные в виде сестона) задерживаются на листьях макрофитов, образуя агломераты. Интенсивность осаждения взвешенных частиц зависит от скорости потока, площади листовой поверхности растений и плотности проективного покрытия ВВР. Высокая плотность популяций водных растений уменьшает скорость течения и способствует оседанию взвесей. Осаждению взвеси способствует также выделение слизи листьями и подводными побегами гидрофитов (Садчиков, Кудряшов, 2005).

Выделяемые ВВР фитонциды способствуют обеззараживанию воды. Для ряда водных и прибрежных растений отмечено бактерицидное действие в отношении сарцин, хромобактерий, стрептококков и кишечной палочки в весенне-летний период активной вегетации (Кокин, 1982). Подавляющее действие камыша озерного на патогенные микроорганизмы (кишечную палочку, сальмонеллу) проявляется в выделении в воду сильно действующего антибиотика, который вызывает гибель бактерий за короткое время. Свойство аира дезинфицировать воду было известно ещё татаро-монгольским конникам, которые разбрасывали его корневища в реки и озера (Лукина, Смирнова, 1988). В то же время при разложении водной растительности, особенно, тростника, численность бактериопланктона и микромицетов в воде существенно возрастает (Кокин, 1982; Белова, 1987).

Многие гидрофиты (ежеголовник, манник, кувшинка, кубышка, камыш, осока, аир, рогоз, ряска, роголистник, рдесты, сусак, стрелолист) продуцируют альгициды. По отношению к возбудителю токсикогенного «цветения» воды – анабене, наибольшая ингибиторная активность обнаружена в водных экстрактах из корней аира, рогоза широколистного, стрелолиста, осок, а также в экстрактах из листьев манника водяного и роголистника погруженного (в разведении 1:800 – 1:1600) (Коган и др., 1972 цит. по: Лукина, Смирнова, 1988). Высокая альгицидная активность выявлена в зарослях тростника, роголистника погруженного, урути колосистой и многокоренника обыкновенного (Гусева, Гончарова, 1965 цит. по: Лукина, Смирнова, 1988). Уруть, роголистник и элодея выделяют гидроксibenzen, угнетающий рост водорослей, при этом более чувствительны к нему синезеленые и диатомеи по сравнению с зелеными водорослями, а фитопланктон в большей степени, чем эпифитные водоросли (Кирпенко, Усенко, 2012).

Ф.А. Гуревичем (1978) выявлено угнетающее действие цианогенных фитонцидов манника (*Glyceria maxima* Hartm) на развитие гидр, рачкового зоопланктона, личинок и куколок хирономид, личинок рыб и, особенно негатив-

ное, на эмбрионы брюхоногих моллюсков. В то же время элодея, валлиснерия, рдесты, горец земноводный, кубышка, кувшинка и ряска не оказывают отрицательного воздействия. Наименьший токсический эффект у беспозвоночных вызывают стрелолист, ежеголовник, элодея, кубышка и кувшинка. Фитонциды аира стимулируют даже развитие эмбрионов катушки роговой (Кокин, 1982; Лукина, Смирнова, 1988).

Некоторые черты строения фотосинтетического аппарата *Lemna gibba* и *Ceratophyllum demersum* обеспечивают их высокую аккумулятивную способность в условиях загрязнения водной среды: растения из более загрязненных местообитаний достоверно отличаются большими размерами клеток мезофилла листа (Чукина, 2010).

Поскольку химическое загрязнение водоемов имеет многокомпонентный состав и вызывает токсические эффекты, необходим подбор видов водных макрофитов, способных расти в токсичной среде, размножаться и при этом эффективно поглощать загрязняющие вещества. К числу таких растений, устойчивых к промышленному загрязнению, относятся аборигенные виды: рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), многокоренник (*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.), ряска горбатая (*Lemna gibba* L.), шелковник (водяной лютик) волосистый (*Batrachium trichophyllum* (Chaix) van den Bosch), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.). (Морозов, 2001; Ольшанская и др., 2012; Чукина, 2010).

Установлено, что высокие концентрации хлорорганических пестицидов (ДДТ, ГХЦГ) стимулирует рост корней у тростника обыкновенного, одновременно угнетая образование надземной фитомассы. Низкие концентрации пестицидов (50 мг/л ДДТ и 25-50 мг/л ГХЦГ) вызывают противоположный эффект (Лукина, Смирнова, 1988).

Тяжелые металлы являются общераспространенными загрязняющими веществами. Некоторые из них относятся к числу микроэлементов растений (Mn, Fe, Co, Cu, Zn), другие (Cd, Cr, Pb, Hg, Tl) являются ксенобиотиками и обладают высокой токсичностью.

Основным механизмом связывания металлов в тканях растений является образование комплексов путем присоединения катионов к карбоксильным, amino- и иминогруппам, гидроксильным, сульфгидрильным и кетогруппам органических соединений. Эффект накопления тяжелых металлов варьирует в диапазоне нескольких порядков и зависит от физико-химических свойств, концентрации, а также вида растения, условий водной среды и т. д. (Галиулин, Галиулина, 2012). Наиболее интенсивно высшей водной растительностью вовлекаются в миграционные циклы Fe, Mn, Zn, Cu, в меньшей степени – Co, Ni и Pb. Такая избирательная способность накопления Fe, Mn, Zn и Cu, вероятно, связана с их участием как микроэлементов в процессах метаболизма, поскольку они входят в состав пигментов, витаминов, ферментов и во время активного вегетационного периода могут накапливаться в растительных тканях в избыточных количествах (Пучков и др., 2013).

По данным Н.В. Чукиной (2010) максимальной аккумулятивной способностью по отношению к меди, цинку, железу и марганцу характеризуется водный лютик (*Batrachium trichophyllum*), а по отношению к никелю – роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum*). Высокой поглотительной способностью обладает также *Lemna gibba*. Наименьшая степень накопления тяжелых металлов обнаружена в листьях *Potamogeton alpinus* и *Sagittaria sagittifolia* (табл. 5.2). Содержание отдельных металлов в листьях макрофитов одного и того же вида может различаться в десятки раз, в зависимости от концентрации данного металла в водной среде (Чукина, 2010).

Таблица 5.2

Коэффициенты биологического накопления тяжелых металлов
водными макрофитами (Чукина, Борисова, 2010)

Вид макрофита	Коэффициент биологического накопления				
	Ni	Cu	Fe	Zn	Mn
Стрелолист обыкновенный	651	1226	1368	4343	19576
Рдест альпийский	2909	1694	1178	4674	24464
Рдест пронзеннолистный	1993	2799	5404	13858	38585
Рдест Фриса	2185	3487	7149	9081	18238
Рдест гребенчатый	2759	2056	11425	4554	15433
Элодея канадская	1897	3812	7690	22755	47812
Ряска горбатая	1764	4513	17768	20624	26264
Рдест гребенчатый	4233	4591	2079	24426	18672
Роголистник погруженный	4592	4901	9605	20398	95804
Шелковник волосистый	554	7762	50170	32620	179460

В водных объектах Челябинской промышленной агломерации наибольшее биологическое накопление макрофитами отмечалось для цинка, относительно высокое – для хрома и никеля. Гидрофиты больше всего накапливают цинк, гелофиты (тростник) – хром и цинк, а зеленая водоросль спирогира – хром, свинец и цинк. Участие гидрофитов в самоочищении воды выражается в том, что прохождение воды через полосы ВВР приводит к снижению концентрации Zn, Cu и Cd в 58, 3 и 2 раза соответственно (Галиулин, Галиулина, 2012) (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Коэффициенты биологического накопления (КБН) тяжелых металлов гидрофитами в водных экосистемах р. Миасс промышленной агломерации г. Челябинска

Вид растения	Cu	Cr	Ni	Zn	Pb	Cd
Рдест гребенчатый	1642	6556	5370	57400	3660	2700
Рдест пронзеннолистный	1566	4289	12000	127100	3860	5500
Тростник обыкновенный	228	24333	3600	48700	656	425
Тростник (ювенильные)	217	17333	1860	54900	669	350
Элодея канадская	1417	15000	17700	251100	1219	725
Роголистник погруженный	913	26333	22400	229600	1313	1950
Рогоз широколистный	963	923	1740	1768	319	75
Элодея канадская	5783	7538	31400	14342	20125	6950

Среди натурализовавшихся интродуцентов высокой аккумулирующей способностью в отношении тяжелых металлов обладает элодея (*Elodea canadensis* Michx): содержание меди в листьях у растений из загрязненных местообитаний в 28, цинка – в 3, а железа – в 2,8 раза выше по сравнению с растениями из «условно чистых» водных объектов (Чукина, 2010).

5.2. ТЕХНОЛОГИИ БИОРЕМЕДИАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Наиболее широкое применение получили биоремедиационные технологии *искусственных водно-болотных систем (constructed wetlands)*. В научной литературе используются такие русскоязычные эквиваленты «constructed wetlands» как «биоплато», «биопонтоны», «фитоочистные сооружения», «биологические очистные площадки». Эти системы биологической очистки включают различные типы искусственно сконструированных или природных преобразованных водно-болотных угодий, включая и водные экосистемы (рис. 5.1). Особенностью их является подобие естественным водно-болотным экосистемам, которые, будучи дополнены рядом технических элементов и встроены в природный ландшафт, способны эффективно выполнять роль водоочистных систем (Щеголькова и др., 2015). В искусственных водно-болотных системах реализуется комплекс физических, химических и биологических процессов поглощения, ассимиляции, трансформации и деградации загрязняющих веществ при активном участии болотной и водной растительности в комплексе с ризосферными почвенными и перифитонными микроорганизмами, а также беспозвоночными сапрофагами (Морозов, 2001; Калайда и др., 2009; Диас и др., 2015; Келль и др., 2017).

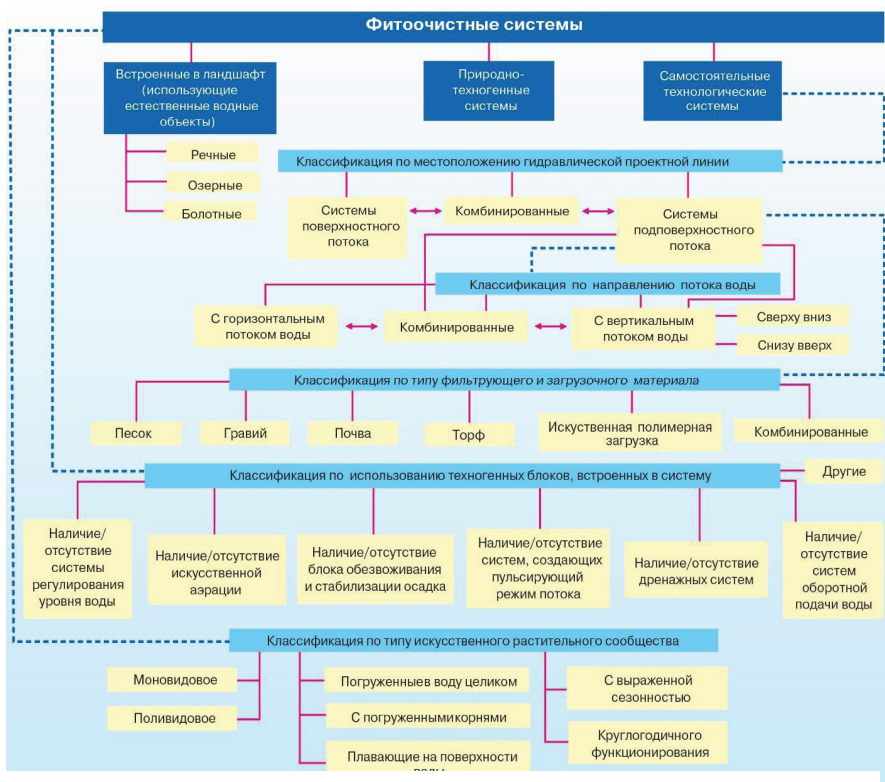


Рис. 5.1. Классификация фитоочистных систем (ФОС) ветландов (Диас и др., 2015)

Природные водно-болотные угодья (*ветланды*) охватывают большой спектр экосистем, включая верховые, низовые и переходные типы болот, сырые и пойменные заливные луга, приморские и ленточные (по руслам каналов) ветланды. Общей их особенностью является поверхностное переувлажнение и близкое расположение грунтовых вод, по крайней мере, в отдельные периоды года. В большинстве случаев субстрат достаточно снабжен кислородом. Малые глубина и скорость течения воды обеспечивают благоприятные условия для осадконакопления и биологического самоочищения. С.А. Остроумовым (2016) предложена концепция водной экосистемы как полифункционального аналога биореактора, осуществляющего очищение воды.

Существуют два различных подхода к решению проблемы очистки сточных вод. Первый – это их сосредоточение и очистка в искусственных механо-биологических установках (аэротенки, биофильтры). При этом процесс ведется на достаточно компактных площадках, но требует больших удельных энерго- и

трудозатрат. Второй подход заключается в рассредоточенной обработке сточных вод в трансформированных природных экосистемах, что требует больших площадей, но меньших энерго- и трудозатрат; примером таких сооружений служат биопруды (Келль и др., 2017).

Фитоочистные системы (ФОС) можно классифицировать по следующим признакам: вовлеченность естественных водных объектов, местоположение гидравлической проектной линии, направление потока воды, тип фильтрующего и загрузочного материала, использование техногенных блоков, встроенных в систему, тип искусственного растительного сообщества, присутствие или отсутствие открытой водной поверхности, экологические группы и виды растений (Диас и др., 2015).

В зависимости от местоположения гидравлической проектной линии выделяют 3 типа биоплато ФОС (рис. 5.1) (Сивкова, Семенов 2010; Щеголькова и др., 2015):

- 1) со свободной водной поверхностью (биопруды, окислительный канал),
- 2) с горизонтальным поверхностным и подповерхностным потоком,
- 3) с вертикальным подповерхностным потоком.

Устройство ФОС можно представить в виде четырёх основных компонентов: водоупорный слой, болотные растения, устройства для подведения, распределения, отведения стока и регулирования уровня воды (рис. 5.2).

Особенности ФОС трёх типов заключаются в следующем.

1. Системы поверхностного потока (Free water surface (FWS) wetlands, surface flow wetlands) напоминают естественные болота наличием свободной поверхности воды и укорененных водных растений. Сточные воды в таких системах проходят через листовую поверхность и корневую систему растений. Такие системы занимают большую площадь и рассчитаны на большой объем и высокую степень очистки сточных вод.

2. Системы подповерхностного горизонтального потока (Vegetated submerged bed (VSB) systems, subsurface flow wetlands) не имеют открытой водной поверхности и постоянного уровня воды, рассчитаны на небольшой объем сточных вод. Такая система представляет собой небольшой дренируемый бассейн, заполненный фильтрующим материалом (щебнем, гравием, галькой, песком и перегноем) и засаженный гидрофитами. При правильном проектировании и эксплуатации сточные воды проходят систему в контакте с ризосферой растений ниже поверхности фильтрующей среды.

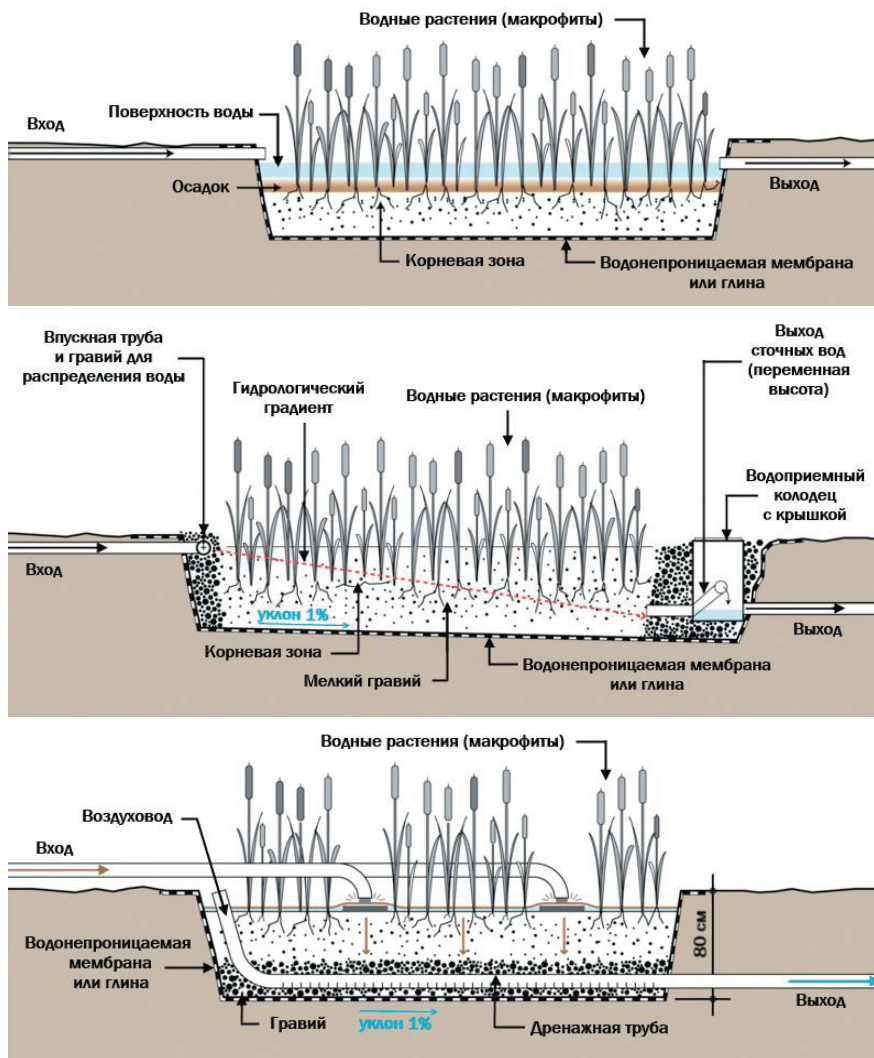


Рис. 5.2. Схема устройства основных типов фитоочистных систем (Щеголькова и др., 2015):
 А – со свободной водной поверхностью; Б – с горизонтальным подповерхностным потоком;
 В – с вертикальным подповерхностным потоком

3. Системы вертикального потока (Vertical flow wetland, VFW). Такой тип ФОС представляет собой резервуар, наполненный песчаным или гравийным фильтрующим материалом и засаженный водными растениями, рассчитан на малый объем сточных вод.

Наилучшими свойствами фильтрующего слоя по отношению к скорости потока для удаления загрязнителей является сочетание песка и гравия. Значительного повышения уровня микробной нитрификации и денитрификации можно добиться введением в систему дополнительных поверхностей, например, прутьев, а также илового осадка. В горизонтальных подповерхностных системах с длительным временем гидравлической задержки поглотительная функция растительности значительна, в то время как в периодически загружаемых вертикальных системах, которые имеют короткое время гидравлической задержки, роль растений в удалении загрязнителей минимальна (Сивкова, Семенов, 2010).

Такие системы используются для очистки бытовых, ливневых, промышленных (в основном, пищевой отрасли) стоков, а также стоков от животноводческих комплексов, шахтных вод, элюатов свалок ТБО и др. (Щеголькова и др., 2015).

Эксплуатационные параметры ФОС с горизонтальным и вертикальным потоком сточных вод представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4

Расчётные параметры ФОС с горизонтальным и вертикальным потоками сточных вод (Диас и др., 2015)

Тип потока	Удельная площадь ФОС (м ² /чел.)		Органическая нагрузка (мин. – макс.)		Гидравлическая нагрузка (м ³ /м ² *сут.)	
	мин.	макс.	БПК ₅ , г/м ² сут	ХПК, г/м ² сут	мин.	макс.
горизонтальный	2	20	4 - 8	–	0,005	0,08
вертикальный	1	6	2,62 - 180,9	2,5 - 320	0,006	1,37

Более 60 тысяч ФОС действуют в странах Европы, десятки тысяч – в США, тысячи – в Австралии. Системы с поверхностным потоком распространены, в основном, в США, а с подповерхностным – в Европе и на других континентах. Среди систем с подповерхностным потоком преобладает тип горизонтального потока. Исключением служат французские системы с вертикальным типом потока. В последнее десятилетие стали распространяться так называемые комбинированные инженерные системы, использующие принудительную аэрацию и особые реактивные субстраты. (Диас и др., 2015; Щеголькова и др., 2015).

В России имеется опыт использования ФОС в виде систем с открытой водной поверхностью. Это биологические пруды доочистки, биоплато или габионные очистные фильтрующие сооружения, предназначенные для обработки ливневых стоков или третичной очистки для сооружений с активным илом (Диас и др., 2015). В рамках международного проекта (Россия, Финляндия, Швеция и Нидерланды) в пос. Шонгуй Мурманской области создано единственное в мире биоплато за Полярным кругом для очистки сточных вод. В условиях ещё более низких среднегодовых температур ($-1,5^{\circ}\text{C}$) и морозных зим (до -53°C) эксплуатируется несколько ФОС подповерхностного и поверхностного стока в Томской области (Сивкова, Семёнов, 2010).

ФОС обеспечивают высокую степень доочистки стоков по сравнению с традиционными физико-химическими методами, требуют меньшего количества обслуживающего персонала, срок их эксплуатации более длителен, они просты и надежны в эксплуатации, при этом энергозатраты ниже в 150-200 раз. Использование солнечной энергии и ассимиляционного потенциала экосистемы обуславливает низкую себестоимость биотехнологии. Недостатками её являются сезонный характер вегетации и отмирания фитомассы, продолжительность процесса биологической очистки, необходимость периодического извлечения и замены макрофитов (Ольшанская и др., 2012).

Технология ФОС в виде биоплато околородной, прибрежно-водной и био-понтонных плавающей и погруженной высшей водной растительностью применяется не только для биологической доочистки сточных вод, но и для активизации самоочищения загрязненных природных водоемов (Морозов, 2001; Мингазова, 2015; Келль и др., 2017). Подбор наиболее подходящих видов растений для засаживания биоплато проводится исходя из местных климатических и природных условий. Самыми распространёнными видами макрофитов можно назвать тростник, рогоз и камыш (Сивкова, Семёнов, 2010). Для очистки сточных вод чаще всего используются такие виды высших водных растений, как камыш, тростник озерный, рогоз узколистный и широколистный, рдест гребенчатый и курчавый, спироделла (многокоренник), элодея канадская, касатик желтый, сусак зонтичный, стрелолист, гречиха земноводная, резуха морская, уруть, ирис и др. (Тимофеева, 2001). В лабораторных экспериментах при фильтрации сточных вод животноводческого комплекса крупного рогатого скота через заросли прибрежно-водных растений количество различных минеральных солей уменьшалось на 37-57%, хлоридов – на 56%, сульфатов – на 34%. В этих опытах наилучшие результаты показали тростник, рогоз, ирис ложноаировый, камыш (Кокин, 1982).

Во многих странах Америки широко используются системы очистки шахтных вод в виде биоплато из камыша и тростника. ФОС с камышовой растительностью используется для очистки сточных вод свиноводческих комплексов в Великобритании и хозяйственно-бытовых сточных вод в Нидерландах, Японии, Китае, а для очистки загрязненного поверхностного стока применяется в Норвегии, Австралии и в других странах (Ольшанская и др., 2012). Системы вторичной и третичной очистки бытовых сточных вод с использованием элодеи

реализуются в умеренном климате, где могут круглый год удалять биогенные элементы из сточных вод. В Ирландии (г. Вильямстоун) успешно эксплуатируется система совместной очистки хозяйственно-бытовых вод (72%) и поверхностного стока (28%), организованная в виде трех мелководных лагун, две из которых засажены камышом и рогозом, а третья представляет собой биопруд с плавающими водными растениями – кубышкой и ряской (Ольшанская и др., 2012).

При использовании ВВР в биопрудах необходимо свести к минимуму вторичное загрязнение при отмирании макрофитов. По характеру вторичного загрязнения воды ВВР подразделяют на три группы:

1) оседающие на дно сразу после отмирания и образующие целлюлозосодержащий ил, который поглощает свободный кислород и вызывает значительное вторичное загрязнение воды (рдест, листья камыша);

2) длительно сохраняющие плавучесть после отмирания благодаря наличию больших воздушных полостей, свободно извлекаемые из воды и вызывающие незначительное вторичное загрязнение (рогоз, хвощ водный, манник, водный гиацинт);

3) всплывающие и извлекаемые после отмирания на берег, не вызывающие вторичное загрязнение воды (камыш озерный) (Белова, 1987).

Создание замкнутых систем промышленного водоснабжения с использованием сточных вод, прошедших доочистку в биопрудах с ВВР, позволяет обеспечить охрану поверхностных водоемов от попадания химических и биологических загрязнений. Это обеспечивает эпидемическую безопасность природных водоемов. С помощью внесения культур водорослей (хлореллы) в воду биопрудов возможно достичь управления процессами не только биологического самоочищения, но также одновременного уменьшения патогенной микрофлоры в сточных водах (Борзенков, Кумани, 2010).

Через несколько лет промышленной эксплуатации биопрудов с ВВР возникает необходимость извлечения, обезвреживания, переработки накопленных токсикантов и органических отходов. Для этого проводят мероприятия, которые включают полное прекращение подачи сточных вод в биопруд, его осушение на период не менее 2 лет («летование»), зарастание болотными травами, изъятие осадка. Отмершую биомассу ВВР можно использовать в качестве сельскохозяйственных удобрений, корма для животных, источника биогаза (Борзенков, Кумани, 2010).

Большой практический опыт (Келль и др., 2017) получен в ходе проведения масштабных производственных экспериментов на биопрудах ПО «Киришинефтеоргсинтез» с общим объемом 240 тыс. м³ и периодом прохождения сточных вод около 20 суток. Биопруды представляют два параллельных каскада по три пруда. В них поступают хозяйственно-бытовые сточные воды г. Кириши с предварительной очисткой до содержания общего азота менее 10 мг/л и общего фосфора 2–3 мг/л. На первом каскаде буферных прудов для повышения качества сбрасываемой воды осуществлено вселение тропического водного растения – *Pistia stratiotes* L. Будучи интродуцирована в середине лета в незамер-

зауший пруд первого каскада, растение акклиматизировалось, благополучно перезимовало и с наступлением весны приступило к активному вегетативному размножению, покрыв к концу вегетационного периода всю поверхность пруда. Пистия подавила развитие других водных растений, плотно прижав к берегу побеги рогоза и тростника (Келль и др., 2017).

Практика эксплуатации биопрудов показывает высокую эффективность следующих биоремедиационных методов повышения качества воды:

- вселения быстро растущих и размножающихся организмов 2-го трофического уровня (*Daphnia pulex* Leydig);
- создания благоприятных условий (по глубине и морфометрии пруда) для бурного роста гидрофитов (*Pistia stratiotes* L.) с целью конкурентного подавления размножения микроводорослей;
- использования метода «летования» как альтернативы дорогостоящим методам очистки дна, позволяющего удалить из водоема биогенные и легко окисляемые органические вещества.

Эти методы реализуются последовательно: «летование», корректировка рабочей глубины и морфометрии дна, заполнение водой, посадка и размножение биоремедиантов (вышей водной растительности, двустворчатых моллюсков и ветвистых рачков - фильтраторов) (Келль и др., 2017).

5.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНОГО ГИАЦИНТА В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ

Некоторые интродуцированные виды водных макрофитов тропического происхождения успешно используются в целях биоремедиации при условии создания адекватных температурных условий. Примерами таких видов являются *эйхорния* (водный гиацинт) и *пистия* (водный салат). Преимуществом их применения является очень высокая скорость роста и вегетативного размножения, а также выносливость к загрязнению вод легко окисляемыми органическими веществами, биогенами и многими токсикантами.

Eichornia crassipes (Martius) Solms-Laubach – эйхорния отличная (водный гиацинт) – однолетнее многолетнее растение из семейства понтедериевых, плейстонное или укореняющееся. Родина *E. crassipes* – тропические и субтропические районы Северной и Южной Америки. Водный гиацинт интродуцирован в пресные водоёмы всех тропических стран мира. Интенсивное вегетативное размножение и хорошая способность к расселению привели к тому, что эйхорния быстро распространилась в большинстве водоемов субтропической и тропической зон: медленно текущих реках, прудах, озерах и крупных водохранилищах. Во многих районах (Флорида, Конго, Уганда, Кения, Танзания и др.) считается опасным водным сорняком: образует сплошные плавни в реках и озерах, препятствуя судоходству, засоряет дренажные и оросительные системы (Рыженко, 1991).

Взрослое растение имеет до 15 плотных блестящих листьев ложкообразной формы, их черешки у основания с округлыми или продолговатыми вздутиями. Листья образуют плавающую на поверхности воды розетку, а вздутия, содержащие воздухоносная ткань, выполняют функцию поплавков, придающих растению устойчивость. Листья служат «парусами», играя важную роль в расселении. Когда водный гиацинт растет одиночным кустиком, округлые вздутия не позволяют волнам и ветру опрокинуть растение. Если растение находится в плотной группе раметов, черешок становится бутылковидным. При укоренении гиацинта черешок принимает цилиндрическую форму. Корневая система состоит из хорошо развитого пучка длинных и хрупких нитевидных (до 0,5 м) корней темного цвета, густо опушенных волосками. Корни свободно плавают в воде, либо укореняются в илом грунте на мелководье (Раимбеков, 1998).

Размножение эйхорнии в летний сезон в условиях открытых водоемов России только вегетативное – боковыми отводками, размер которых зависит от количества питательных веществ в воде и световых условий. Скорость размножения высокая: за 3–4 месяца каждое растение способно воспроизвести до 300 раметов. Интенсивность фотосинтеза эйхорнии выше, чем у других погруженных в воду растений.

Экологические особенности водного гиацинта следующие (Жданов, 1987; Рыженко, 1991; Simpson, Sanderson, 2002):

1. Рост происходит при температурах воды 17 – 33°C, размножение при 20 – 32°C, гибель при температуре воздуха 4°C. Оптимальной температурой воздуха является 26°C, воды – +23°C. Период роста в умеренной зоне ограничен 2–3 месяцами.
2. Имеет высокую скорость вегетативного размножения (до 25 дочерних розеток / экз. в месяц) при температурах воды: 20 – 25°C.
3. Оптимальная длина светового дня для роста и размножения составляет 12–14 часов.
4. Цветёт при температуре воды выше 25°C и температуре воздуха выше 30°C, но в умеренной зоне семена не вызревают.
5. Оптимальная активная реакция среды 6,0–6,8 (слабокислая), может расти при pH 5–9.
6. Выживает и размножается в воде с высокими концентрациями загрязняющих веществ, вызывающими гибель других водных растений.
7. Имеет высокую скорость поглощения и накопления загрязняющих веществ (биогенных элементов, нефтепродуктов, СПАВ, тяжелых металлов и радионуклидов).
8. Выделяет в воду биологически-активные вещества, ингибирующие развитие сине-зеленых водорослей и бактерий.

Натурализация *E. crassipes* в условиях средней полосы России невозможна из-за отрицательных температур и отсутствия специфических насекомых опылителей. Период вегетации в открытых водоемах может продолжаться до 9 месяцев в южных регионах, а в водоемах средней полосы – от 2 до 5 месяцев. При достижении средней температуры воды ниже 14°C в защищенных от ветра

условиях эйхорния может переносить в ночные часы кратковременные понижения температуры воздуха до 6°C. В открытом водоеме растения начинают массово отмирать при температуре воздуха 4°C (Жданов, 1987; Рыженко, 1991). В искусственных условиях растения освещают лампами зелено-красного спектра мощностью не менее 3 кВт не более 14 ч в сутки, преимущественно с 5 до 19 часов (Жданов, 1987).

Средой для роста эйхорнии могут служить ливневые, коммунально-бытовые, сельскохозяйственные и промышленные сточные воды, содержащие большое количество органических веществ (Горбунова, 2009).

Мощная корневая система *E. crassipes* обеспечивает высокую эффективность поверхностно-адсорбционного поглощения питательных веществ. Уровень гетеротрофной ассимиляции относительно высок (1,5 – 2,7). С помощью корневой системы и листьев эйхорния усваивает из воды гидрокарбонаты, минеральные соли азота и фосфора, низкомолекулярные органические вещества. Присутствие последних в воде обеспечивает прирост чистой первичной продукции на 30% (Раимбеков, 1998; Петраш, 2008).

Эйхорния способна поглощать из воды и накапливать загрязняющие вещества: нефтепродукты, СПАВ, фенолы, соли аммония, сульфаты, фосфаты, хлориды, нитраты, СПАВ, тяжелые металлы (медь, цинк, железо, хром, кадмий и др.), а также радионуклиды (цезий, стронций, церий, кобальт и др.), снижать содержание легкоокисляемых веществ (БПК) (Катков, 2001; Данилин, 2009; Минаева и др., 2009; Горбунова, 2009; Ольшанская и др., 2012). Эффективность очистки ливневых сточных вод от тяжелых металлов в прудах-отстойниках с эйхорнией в среднем составляет 74 % для цинка и меди и 70 % для свинца (Данилин, 2009). При использовании водного гиацинта в системе очистки бытовых сточных вод в США эффективность очистки по БПК₅ достигает 97–98 % (McAnally, Benfield, 1992).

Эйхорния обладает также способностью устранять бактериальное загрязнение воды, нормализуя микробиологические показатели (общее микробное число, коли-индекс и др.), убивая гнилостную микрофлору. Благодаря выделению корневой системой стимуляторов роста углеводородокисляющих бактерий, водный гиацинт ускоряет бактериальное разложение нефтепродуктов и детоксикацию органических ксенобиотиков (фенолов, хинонов и др.). Водный гиацинт массой 150-180 г благодаря ризосферным микроорганизмам в течение 12 суток разрушает гептил в концентрации 110 мг/л (Ветров, 2001). На поверхности нитевидных корней формируются селективные микробиоценозы (бактерии, водоросли, простейшие), способствующие более активной биодеструкции и поглощению органических и минеральных веществ (Гоготов, 2005). Установлен выраженный аллелопатический эффект сырого экстракта эйхорнии по отношению к зеленым водорослям *Chlorella vulgaris*, *Dictyochloropsis splendida* и цианобактериям *Spirulina platensis*, *Nostoc piscinale*. Наибольшее подавление роста и размножения наблюдается у *Chlorella vulgaris* (Shanab Sana et al, 2010).

Фитомассу *E. crassipes*, накопленную в процессе очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, можно рационально использовать (Рыженко, 1991; Ветров, 2001):

- как высокобелковую витаминную кормовую массу (до 500 тонн / га за сезон);
- для производства органического удобрения – биогумуса;
- для производства биогаза и жидкого топлива.

Эйхорния богата белками с незаменимыми аминокислотами, витаминами, каротином и соответствует кормам 1-го класса (ГОСТ 18691-88) (табл.5.5).

Таблица 5.5

Химический состав эйхорнии на сухое вещество фитомассы (Рыженко, 1991)

Показатели качества	Образцы растений разного возраста		
	1 месяц	2 месяц	3 месяц
Влажность, %	26,0	27,0	22,0
Сырая клетчатка, %	8,3	11,2	11,4
Сырой протеин, %	33,7	34,0	30,0
Каротин, мг/кг	10,4	24,6	59,1
Сырой жир, %	1,7	1,7	1,5
Фосфор, %	1,3	1,4	1,1
Нитраты, мг/кг	89,4	82,8	79,2
Кальций, % масс	1,5	1,7	1,6
Зольные элементы, %	20,1	23,1	20,8

С целью оценки возможности использования водного гиацинта в условиях мегаполиса для активизации биологического самоочищения малой реки Нижнего Новгорода – Левинки в летний сезон 2015 г был поставлен натурный эксперимент с высаживанием на экспериментальном биопонтоне в виде пластикового обруча диаметром 1,0 м, заякоренного посередине в подпруженной аквариумии. На площадке 15.06 были высажены 6 растений водного гиацинта массой от 2 до 34 гр. В течение июня образовалось 13 новых розеток и 6 самостоятельных раметов с 11 дочерними розетками. Прирост листовой фотосинтетической поверхности в целом составил 3,486 м² (69%) за счет прироста исходных 38 и образования 52 новых листьев. Прирост биомассы составил 242,2 г, а удельная чистая продукция – 212%.

Таким образом, успешная сезонная акклиматизация водного гиацинта в малой реке г. Нижнего Новгорода показала положительные результаты, что позволяет сделать вывод о возможности его использования для биоремедиации загрязненных малых водоемов и водотоков средней полосы России при условии охраны экспериментальных фиторемедиационных площадок (Макеев, Коротаева, Голикова, 2016).

Литература

1. Белова М.А. Макрофиты и их бактериальная деструкция в континентальных водоемах (обзор) // Гидробиол. журн. – 1987. – №2. – С. 3–9.
2. Борзенков А.А., Кумани М.В., Лукьянчиков Д.И. Применение биологических прудов для доочистки сточных вод в Курской области // Ученые записки Курского гос. ун-та. – 2010. – № 1. – С. 94–101.
3. Ветров В. Эйхорния, экономика, экология // Экономическое обозрение. – 2001. – №37. – С. 5–6.
4. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Риск загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами при техногенезе проблемы анализа риска. – 2012. – Т. 9. № 5. – С. 40–47.
5. Гоготов И.Н. Аккумуляция ионов металлов и деградация поллютантов микроорганизмами и их консорциумами с водными растениями // Экология промышленного производства. – 2005. – №2. – С. 33–37.
6. Горбунова С.Ю. Использование водного гиацинта *Eichornia crassipes* для биологической доочистки сточных вод // Экология моря. – 2009. – Вып. 78. – С. 40–43.
7. Гуревич Ф.А. Роль фитонцидов во внутренних водоемах // Водные ресурсы. – 1978. – №2. – С. 133–142.
8. Гутельмахер Б.Л., Садчиков А.П., Филиппова Т.Г. Питание зоопланктона // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. – 1988. – № 6. – 155 с.
9. Данилин И.А. Модификация потенциального риска здоровья населения г. Москвы за счет уменьшения содержания тяжелых металлов в дождевых сточных водах // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 3. – С. 89–94.
10. Диас В.Н., Криксунов Е.А., Панков Я.В., Перелыгина Е.Н., Бизин С.А. Использование ризосферы для очистки сточных вод // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5. № 3. – С. 10–21.
11. Дикиева, Д.М., Петрова И.А. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие концентрацию минеральных веществ в высших водных растениях // Гидробиологические процессы в водоемах: Сб. ст. – Л.: Наука, 1983. – С. 107–213.
12. Жданов В.С. Аквариумные растения. – М.: Лесная промышленность. 1987. – 295 с.
13. Калайда М. Л., Борисова С.Д. Доочистка производственных сточных вод с помощью высших водных растений // Экология и промышленность России. – 2010. – №3. – С.33–35.
14. Катков А.С. Использование эйхорнии для очистки проток // Экология и промышленность России. – 2001. – №2. – С. 21–23.
15. Келль Л.С., Середа М.В., Садыкова М.В., Казаков А.В., Антошков А.В., Середа К.М., Третьякова И.А., Соколова Т.Е. Экологические методы

управления искусственными водоемами, применяемыми в системах водоснабжения и водоотведения // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2017. – № 1. – С. 12–23.

16. Кирпенко Н.И., Усенко О.М. Влияние высших водных растений на микроводоросли (обзор) // Гидробиологический журнал. – 2012. – Т. 48, № 6. – С. 66–88.

17. Кокин К.А. Экология высших водных растений. – М. Изд-во МГУ. 1982. – 160 с

18. Логинова Е.В., Лопух П.С. Гидроэкология: курс лекций. – Минск: БГУ. 2011. – 300 с.

19. Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н. Физиология высших водных растений. – Киев.: Наукова думка, 1988. – 188 с.

20. Макеев И.С., Кортаева М.И., Голикова А.И. Сезонная акклиматизация водного гиацинта для фиторемедиации малого водотока г. Нижнего Новгорода // Успехи современного естествознания. – 2016. – №1. – С.132–136.

21. Минаева О.М., Акимова Е.Е., Минаев К.М., Семенов С.Ю., Писарчук А.Д. Поглощение ряда тяжелых металлов из водных растворов растениями водного гиацинта (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) // Вестник Томского государственного университета. Сер.: Биология. – 2009. – № 4(8). – С. 106–111.

22. Мингазова Н.М. Концепция и методические подходы экологической реабилитации водных экосистем (на примере России и Абхазии) // Pontus Euxinus 2015: Тезисы IX Всерос. научно- практ. конф. по проблемам водных экосистем (17-20 ноября 2015 г.). Севастополь: DigitPrint, 2015. – С.109–111.

23. Морозов Н.В. Экологическая биотехнология: очистка природных и сточных вод макрофитами. – Казань: Изд. КГПУ, 2001. – 395 с.

24. Олышанская Л.Н., Собгайда Н.А., Русских М.Л., Валиев Р.Ш., Арефьева О.А. Фиторемедиационные энергосберегающие технологии в решении проблем загрязнения гидросферы // Инноватика и экспертиза. – 2012. – Вып. 2(9). – С. 166–172.

25. Остроумов С.А. Роль биоты в экологических механизмах самоочищения воды (Серия: Ecological Studies, Hazards, Solutions. Вып. 22). – М.: МАКС Пресс, 2016. – 124 с.

26. Петраш Е.П. Биологическая очистка сточных вод с использованием водной растительности // Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов: Мат. межд. научно-практ. конф. – М. 2008. – С. 34–36.

27. Пучков М.Ю., Зволинский В.П., Новиков В.В., Кочеткова А.И., Локтионова Е.Г. Особенности накопления тяжелых металлов высшей водной растительностью Волгоградского водохранилища // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6(2). – С. 392–396.

28. Раимбеков К.Т. Эколого-биологические особенности *Eichhornia crassipes* Solms. в культуре в условиях Узбекистана: автореф. дис. канд. биол. наук. Ташкент. – 1998. – 18 с.

29. Рыженко Б.Ф. Информационный обзор способа очистки (доочистки) вод с применением эйхорнии (водного гиацинта) // Кавказская здравница. – 1991. – №6. – С. 15–19.
30. Садчиков А.П., Котелевцев С.В. «Цветение» водоемов и борьба с ним // Энергия: экономика, техника, экология. – 2013. – № 6. – С. 60–64.
31. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Гидрботаника: прибрежно-водная растительность. – М.: Академия, 2005. – 240 с.
32. Сивкова Е.Е., Семёнов С.Ю. Использование технологии «constructed wetlands» для очистки сточных вод малых населённых пунктов и предприятий // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2010. – №4 (12). – С. 123–130.
33. Тимофеева С.С. Биотехнология обезвреживания сточных вод. // Химия и технология воды. – 2001. – № 5. – С. 525–532.
34. Чукина Н.В. Структурно-функциональные показатели высших водных растений в связи с их устойчивостью к загрязнению среды обитания. Автореф. канд. биол. наук, Борок, 2010. – 24 с.
35. Щеголькова Н.М., Диас В., Криксунов Е.А., Рыбка К.Ю. Фитосистемы для очистки сточных вод: современное решение экологических проблем // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2015. – №2. – С. 46–54.
36. McAnally A.S., Benefield J.D. Use of constucted water hiacinth treatment systems to upgrade small flow municipal wastewater treatment // J. Environ. Sci. and Health. 1992. №3. P. 903–927.
37. Shanab Sanaa M. M., Shalaby Emad A., Lightfoot David A., El-Shemy Hany A. Allelopathic Effectsof Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) // PLOS One. 2010 Oct 8 5(10). DOI: 10.1371/journal.pone.0013200.
38. Simpson D., Sanderson H. *Eichornia crassipes*. Pontederiaceae // Curtis's botanical magazine. 2002. V. 19. №.1. P. 28–34.

ГЛАВА 6. МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ НА ОСНОВАНИИ СХОДСТВА ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ

Классическими задачами экологии сообществ являются упорядочивание и классификация большого количества проб, отражающих видовую структуру биоценозов. Как правило, задача упорядочивания проб решается методами ординации, а задача классификации – методами кластерного анализа. Из большого многообразия алгоритмов кластерного анализа в экологии наибольшее распространение получили методы иерархической агломеративной кластеризации, осуществляющие последовательное объединение объектов в группы. Такое объединение осуществляется на основе сходства объектов по множеству переменных, которые представляют собой ту или иную меру представленности видов в сообществе.

В настоящее время экологи располагают значительным количеством методов, позволяющих оценить степень сходства видовой структуры отдельных сообществ или ряда выборок (проб) в зависимости от специфики объекта исследования и стоящих перед ним задач (Песенко, 1982; Jost et al., 1988; Legendre, Legendre, 2012). Показатели сходства можно разделить на две большие группы: качественные индексы (основанные только на видовом составе) и количественные, которые учитывают еще и меру представленности каждого вида, например, численность, биомассу и т.д.

В ходе осуществления кластерного анализа необходимо принять несколько решений относительно процедуры и результатов анализа. В частности, необходимо выбрать метрику сходства и алгоритм объединения объектов в кластеры, а также определить оптимальное число кластеров в итоговой классификации. При этом многие исследователи руководствуются субъективными предпочтениями, однако в настоящее время разработаны и апробированы подходы к количественному обоснованию выбора процедуры кластерного анализа (Borcard et al., 2011; Legendre, Legendre, 2012).

В данной работе мы обсудим современные методические подходы к проведению кластерного анализа сообществ на основании нескольких метрик сходства: евклидова расстояния, косинуса угла между векторами представленностей видов, а также количественного индекса сходства Ренконена. Эти методы будут проиллюстрированы примерами классификации проб зоопланктона р. Линда (малая река, левый приток речной части Чебоксарского водохранилища), а также проб зоопланктона Пустынской озерно-речной системы (расположена в бассейне р. Сережа, правого притока р. Ока второго порядка). Водосборные бассейны описываемых водных объектов расположены в пределах Нижегородской области, однако отличаются между собой как по ряду природных факторов, так и по антропогенной нагрузке.

Пробы зоопланктона на акватории р. Линда отбирали в июле 2012 г. (рис. 6.1). Зоопланктон на акваториях водных объектов Пустынского заказника (рис. 6.2) – малой реке Сережа, озерах Великое, Свято, Протоке (водоток между оз. Великое и Свято) – был собран в июле 2015 г. Сбор и обработка материала проводилась в соответствии с общепринятым в гидробиологии методами (Методические рекомендации..., 1982).

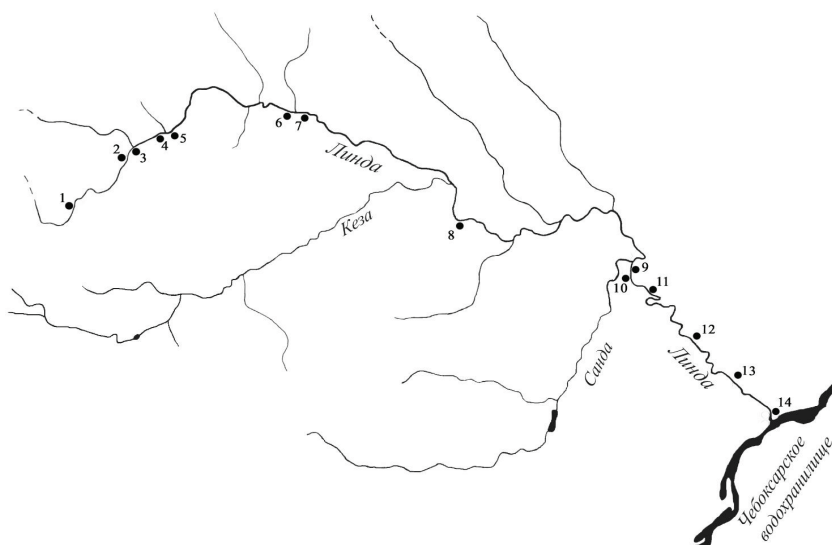


Рис. 6.1. Расположение станций отбора проб зоопланктона на акватории р. Линда в 2012 г.
 1 – д. Zubovo, 2 – д. Большая Дуброва, 3 – д. Клопиха, 4 – д. Плюхино, выше впадения руч. Безымянный, 5 – д. Плюхино, ниже впадения руч. Безымянный, 6 – д. Тарасиха, выше устья р. Ифтенка, 7 – д. Тарасиха, ниже устья р. Ифтенка, 8 – д. Остреево, 9 – д. Зуево, ниже устья р. Санда, 10 – пос. Железнодорожный, 11 – ст. Киселиха, 12 – д. Линдо-Пустынь, 13 – ст. Толоконцево, 14 – устье р. Линда

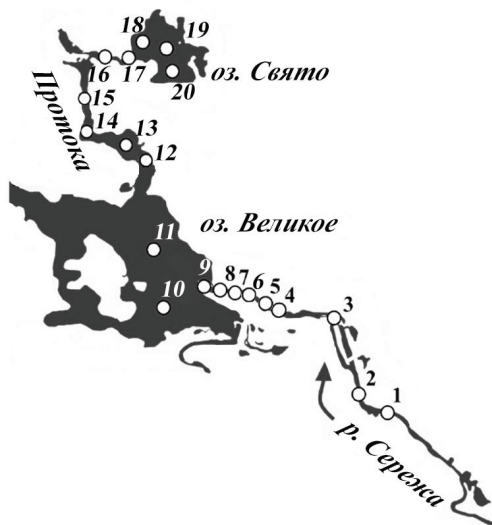


Рис. 6.2. Расположение станций отбора проб зоопланктона на акватории Пустынской озерно-речной системы в 2015 г. 1-8 – р. Сережа; 9 – оз. Великое в районе устья р. Сережа; 10-11 – оз. Великое; 12-17 – Протока; 18-20 – оз. Свято

Применительно к гидробиологии, при проведении кластерного анализа мы рассматриваем проблему классификации M проб из некой их совокупности (одного или нескольких сообществ). Если в результате гидробиологической съемки во всех пробах обнаружено S видов, то каждый i -й вид характеризуется относительной представленностью в пробе $p_i = n_i/N$, где n_i – численность или биомасса организмов данного вида, N – суммарная численность или биомасса всех организмов в данной пробе. Для проведения кластерного анализа необходимо сформировать матрицу расстояний между объектами. Эти расстояния можно измерить с использованием различных метрик. В частности, распространенной мерой удаленности объектов друг от друга служит евклидово расстояние D_E (Олдендерфер, Блэшфилд, 1989). В случае измерения расстояния между двумя пробами в многомерном пространстве из S видов D_E рассчитывают следующим образом:

$$D_E = \sqrt{\sum_{i=1}^S (p_{i1} - p_{i2})^2} \quad (6.1)$$

где p_{i1} и p_{i2} – относительные представленности i -го вида в первой и второй сравниваемых пробах соответственно.

Однако, для измерения расстояния между сравниваемыми пробами можно применять и другие метрики, основанные на индексах сходства. В экологии для измерения сходства сообществ традиционно применяют качественные (например, Жаккара и Сёрнсена) и количественные индексы (например, Брэя-Кёртиса и Мориситы-Хорна) (Песенко, 1982). Индексы сходства представляют собой безразмерные величины, измеряющие сходство в диапазоне от 0 до 1. Каждому индексу сходства соответствует индекс различия (расстояние), дополняющий индекс сходства до единицы. Такие индексы различия можно использовать для формирования матрицы расстояний.

В настоящей работе мы будем использовать количественный индекс сходства Ренконена (D_R), с помощью которого расстояние между пробами измеряется следующим образом (Jost et al., 2011):

$$D_R = \sum_{i=1}^S \min(p_{i1}, p_{i2}) \quad (6.2)$$

Достаточно хорошо зарекомендовало себя использование в качестве меры сходства косинуса угла (D_S) между векторами натуральных либо относительных представлений (Черепенников, Шурганова, Артельный, 2003, Черепенников и др., 2004; Шурганова, Черепенников, 2011), который можно рассчитать по формуле:

$$D_S = \frac{\sum_{i=1}^S p_{i1} \cdot p_{i2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^S p_{i1}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^S p_{i2}^2}} \quad (6.3)$$

Матрица расстояний между объектами представляет собой симметричную квадратную матрицу, в которой на пересечении i -й строки и j -го столбца расположено расстояние между объектами i и j . Главная диагональ матрицы расстояний заполнена нулями, поскольку расстояние от объекта до самого себя нулевое. После формирования матрицы расстояний используют следующий алгоритм объединения объектов в кластеры. На первом шаге в кластер объединяются две пробы, находящиеся на наименьшем расстоянии. Данное расстояние фиксируется как расстояние объединения этих двух проб. Кластер из двух объединенных проб считается новым объектом, для которого рассчитывается расстояние до всех остальных проб. В новой матрице расстояний находится минимум и следующие два объекта объединяются в кластер на соответствующем расстоянии. Этими объектами могут быть как исходные пробы, так и ранее сформированные кластеры. Процедуры пересчета матрицы расстояний и объединения повторяются до тех пор, пока все пробы не будут объединены в общий кластер.

Чтобы реализовать данный алгоритм, нужно определить метод расчета расстояний между группами проб (кластерами). Наиболее распространены три

способа (Олдендерфер, Блэшфилд, 1989): метод ближнего соседа (метод одиной связи) – наименьшее расстояние между всеми парами объектов, входящих в кластеры; метод дальнего соседа (метод полной связи) – наибольшее расстояние между всеми парами объектов, входящих в кластеры; метод средней связи – среднее расстояние между всеми парами объектов, входящих в кластеры. Немного особняком стоит метод Уорда, основанный на минимизации суммы квадратов расстояний между объектами внутри объединяемых кластеров. При использовании этого метода расстояние между кластерами рассчитывается как квадратный корень из разности между нормированными суммами квадратов объединенного и исходных кластеров.

Универсальных рекомендаций относительно выбора того или иного метода расчета расстояний нет, поскольку каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками. В зависимости от решаемой задачи, исследователь часто выбирает метод расчета на основе собственных предпочтений. Однако, существует два количественных способа обоснования выбора метода, основанных на анализе кофенетических расстояний. Кофенетическим называется расстояние между исходными объектами, соответствующее полученной иерархической классификации, т.е. это расстояние, на котором два объекта объединены в один кластер (Jain, Dubes, 1988). Аналогично исходным расстояниям кофенетические расстояния также можно представить в виде матрицы.

Первый способ состоит в расчете обычного коэффициента корреляции Пирсона (или любого другого, например, Спирмена или Кенделла) между значениями исходных и кофенетических расстояний, который в данном случае называют коэффициентом кофенетической корреляции (Legendre, Legendre, 2012; Sokal, Rohlf, 1962). Чем выше этот коэффициент корреляции, тем меньше искажения вносятся в структуру данных при кластеризации. Соответственно предпочтение отдается методу с наибольшей кофенетической корреляцией. Коэффициенты кофенетической корреляции не могут сравниваться статистически, поскольку матрицы расстояний не независимы.

Второй способ заключается в расчете суммы квадратов разностей исходных и кофенетических расстояний. Даная величина называется расстоянием Говера (Gower, 1983; Legendre, Legendre, 2012). Имеет смысл сравнивать только расстояния Говера, полученные для разных методов объединения на основе одной и той же матрицы исходных расстояний. Чем меньше расстояние Говера, тем лучше иерархическая классификация отражает структуру данных.

Визуализировать вносимые классификацией искажения можно с помощью так называемых графиков Шепарда (Shepard, 1962), на которых по одной оси отложены исходные расстояния, по другой – кофенетические. Обычно на этих графиках отображают биссектрису координатного угла, вдоль которой соответствие между исходным и кофенетическим расстояниями максимально.

Наконец, главный и последний этап кластерного анализа – выбор числа групп (кластеров), на которые следует разделить совокупность объектов. Обычно исследователи делают этот выбор на основании анализа структуры дендрограммы, при этом учитывая “осмысленность” выделяемых групп. Для количественного обоснования оптимального числа кластеров также предложено два относительно новых подхода: на основе анализа силуэтов и на основе бинарных матриц принадлежности к кластерам (Rousseeuw, 1987; Borcard et al., 2011; Legendre, Legendre, 2012). Ширина силуэта i -го объекта (s_i) определяется следующим образом:

$$s_i = \frac{b_i - a_i}{\max(b_i, a_i)} \quad (6.4)$$

где a_i – среднее расстояние между i -м объектом и всеми членами кластера, которому он принадлежит (если объект в кластере один, то $a_i = 0$), b_i – среднее расстояние между i -м объектом и членами другого ближайшего кластера (на практике рассчитывается среднее расстояние до членов всех остальных кластеров и выбирается минимум).

Как следует из формулы (6.4), ширина силуэта может варьировать от -1 до 1 . Данная величина характеризует степень принадлежности данного объекта кластеру. Если она близка к единице, объект находится фактически в центре кластера и его принадлежность к нему не вызывает сомнений. Если s_i близко к нулю, объект расположен между двумя кластерами. Отрицательные значения s_i свидетельствуют о вероятной неверной классификации объекта (Rousseeuw, 1987). Для всех объектов рассчитывают ширину силуэта, чем выше этот показатель, тем надежнее классификация. Затем вычисляют среднюю ширину силуэта для числа кластеров от 2 до M . Оптимальной считается классификация с наименьшей средней шириной силуэта (Borcard et al., 2011).

Второй подход основывается на анализе коэффициентов корреляции Мантеля между матрицей исходных расстояний и бинарной матрицей, задающей принадлежность объектов к кластерам (Borcard et al., 2011). Бинарная матрица тоже служит своего рода матрицей расстояний, ее элементы – нули, если объекты принадлежат одному кластеру, и единицы – в случае принадлежности объектов разным кластерам. Чем выше корреляция между исходной и бинарной матрицами, тем лучше классификация. В рамках данного подхода технически коэффициент корреляции Мантеля вычисляется как обычный коэффициент корреляции Пирсона между соответствующими расстояниями. Аналогично коэффициентам кофенетической корреляции, коэффициенты корреляции Мантеля не подлежат статистическому анализу, поскольку матрицы не независимы. Они используются только для сравнительного анализа.

Описанные подходы подразумевают необходимость большого объема вычислений в соответствии с тем или иным алгоритмом. К большому сожалению, стандартные программы для работы с данными не позволяют проводить все описанные виды анализа.

Мы рекомендуем использовать открытую программную среду для статистических вычислений и моделирования R (R Core Team, 2015), в которой реализовано большое количество инструментов для проведения кластерного анализа и детализации его результатов. В частности, для расчета матрицы евклидовых расстояний используется стандартная функция `dist()`, для расчета расстояний с использованием распространенных в экологии индексов можно использовать функцию `vegdist()` пакета `vegan`. Иерархическое объединение объектов в кластеры в соответствии с разными алгоритмами реализовано в стандартной функции `hclust()`. Кофенетические расстояния, необходимые для расчета коэффициентов кофенетической корреляции, расстояний Говера и построения графиков Шепарда, можно построить с помощью стандартной функции `cophenetic()`. Ширина силуэтов объектов рассчитывается с помощью функции `silhouette()` пакета `cluster`. Для расчета коэффициента корреляции Мантеля необходима бинарная матрица принадлежности объектов кластерам. Эта матрица рассчитывается следующим образом. Сначала определяются номера кластеров, к которым принадлежат объекты с помощью функции `cutree()`, осуществляющей обрезку дендрограммы с заданным числом кластеров. Полученные номера преобразуются в фактор, который передается в функцию `daisy()` пакета `cluster`, которая рассчитывает расстояние Говера (`method = "gower"`). В результате расстояния Говера будут равняться нулю для объектов, принадлежащих одному кластеру, и единице – в противном случае, то есть будет получена необходимая бинарная матрица.

Для иллюстрации приведенных методик мы провели кластерный анализ зоопланктона р. Линда и водотоков Пустынской озерно-речной системы с использованием трех метрик сходства. Результаты, полученные разными методами, в значительной степени сходны, они представлены для варианта классификации на основе косинуса угла между векторами.

Обратимся сперва к классификации проб р. Линды. Дендрограммы иерархической классификации с применением четырех разных методов объединения отражают специфику этих методов (рис. 6.3). Для выявления структуры искажений, вносимых различными методами, построены графики Шепарда (рис. 6.4). Из представленных рисунков видно, что использование методов дальнего соседа и Уорда искажает расстояния между пробами в большую сторону (точки на графике лежат выше биссектрисы), а использование метода ближнего соседа, напротив, уменьшает расстояния (точки лежат ниже биссектрисы). Метод средней связи также вносит искажения, однако они не имеют систематического характера.

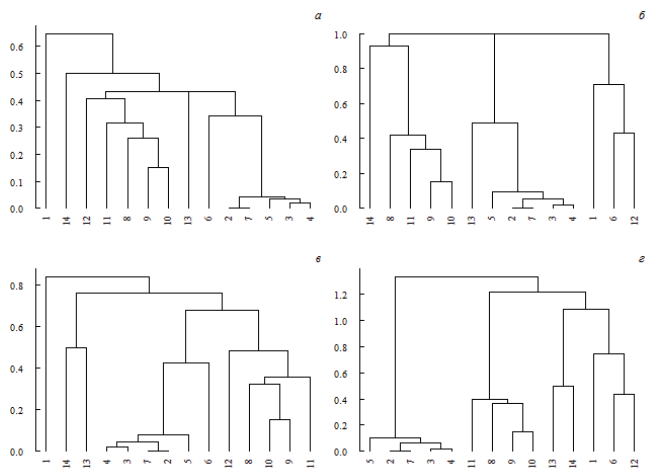


Рис. 6.3. Дендрограммы иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда с применением косинуса угла между векторами. Методы: *а* – ближнего соседа, *б* – дальнего соседа, *в* – средней связи, *г* – метод Уорда. По оси ординат – расстояние объединения, по оси абсцисс – станции отбора проб

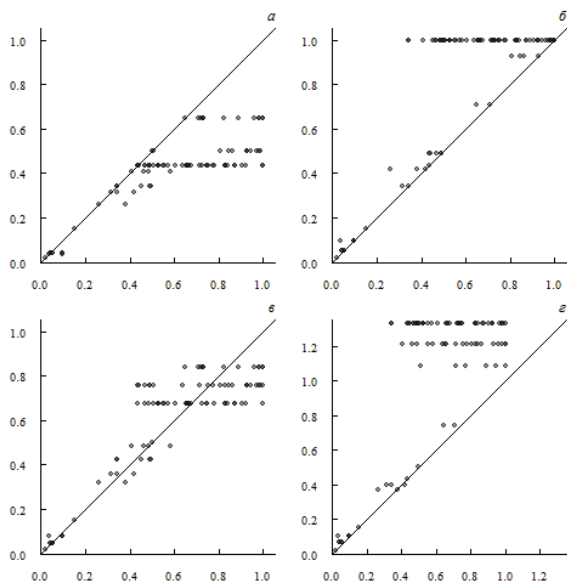


Рис. 6.4. Графики Шепарда для иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда с применением косинуса угла между векторами. По оси абсцисс – исходные расстояния, по оси ординат – кофенетические расстояния. Остальные обозначения, как на рис. 6.3

Из этого следует, что для зоопланктона р. Линда наилучшую классификацию дает метод средней связи. Кроме того, его результаты характеризуются наибольшим коэффициентом кофенетической корреляции и наименьшим расстоянием Говера для всех трех метрик сходства (табл.6.1).

Таблица 6.1

Количественные показатели качества иерархической классификации проб зоопланктона р. Линда с использованием различных методов объединения и метрик сходства

Метод объединения	Косинус угла между векторами		Евклидово расстояние		Индекс Ренконена	
	r_{coph}	D_{Gower}	r_{coph}	D_{Gower}	r_{coph}	D_{Gower}
Ближнего соседа	0.836	5.908	0.704	4.178	0.888	2.252
Дальнего соседа	0.798	7.541	0.764	5.723	0.869	3.646
Средней связи	0.861	1.828	0.798	1.125	0.902	0.667
Уорда	0.738	26.667	0.693	26.104	0.785	19.21

Примечание. r_{coph} – коэффициент кофенетической корреляции, D_{Gower} – расстояние Говера

Аналогичные результаты получаются и для проб, отобранных на акватории озерно-речной системы Пустынского заказника (табл. 6.2). Поэтому в дальнейшем мы будем использовать в качестве метода объединения именно метод средней связи.

Таблица 6.2

Количественные показатели качества иерархической классификации проб зоопланктона Пустынской озерно-речной системы с использованием различных методов объединения и метрик сходства

Метод объединения	Косинус угла между векторами		Евклидово расстояние		Индекс Ренконена	
	r_{coph}	D_{Gower}	r_{coph}	D_{Gower}	r_{coph}	D_{Gower}
Ближнего соседа	0,512	12,418	0,613	5,963	0,665	8,545
Дальнего соседа	0,736	18,467	0,714	14,970	0,764	9,077
Средней связи	0,775	2,906	0,739	1,679	0,757	2,008
Уорда	0,723	71,782	0,703	50,845	0,742	65,545

Примечание. r_{coph} – коэффициент кофенетической корреляции, D_{Gower} – расстояние Говера

Перейдем к вопросу выбора оптимального числа кластеров, которые нужно выделить в итоговой классификации. На рис. 6.5 представлены количественные показатели оптимальности разбиения на кластеры для классификации проб зоопланктона р. Линда, выполненной методом средней связи с приме-

нием косинуса угла между векторами. Максимальное значение средней ширины силуэта (рис. 6.5*а*, выделено жирной линией) наблюдается для четырех кластеров. Максимум коэффициента корреляции Мантеля (рис. 6.5*б*, выделено жирной линией) достигается при разбиении на шесть кластеров. Следует отметить, что значения коэффициентов корреляции Мантеля для разбиения на 4–10 кластеров очень близки. Поэтому на основании двух показателей оптимальности следует признать наилучшим разбиение исследованных проб зоопланктона р. Линда на четыре кластера.

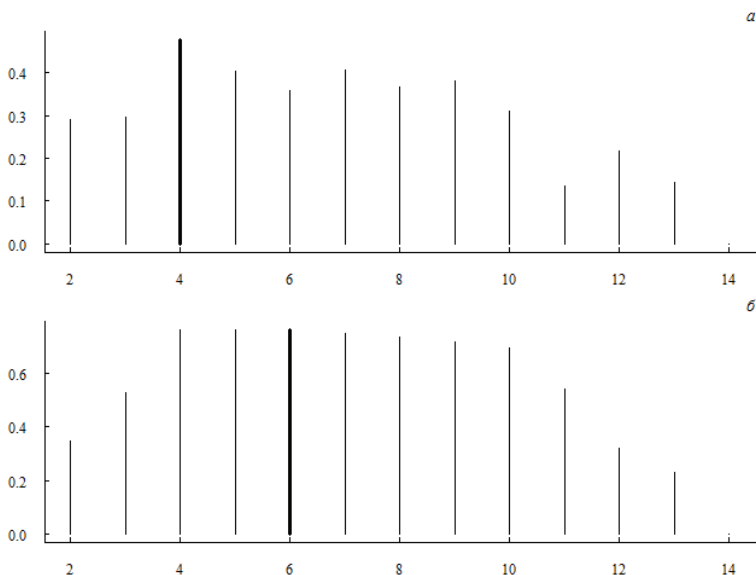


Рис. 6.5. Количественные показатели оптимальности разбиения на кластеры проб зоопланктона р. Линда в соответствии с иерархической классификацией по методу средней связи с применением косинуса угла между векторами: *а* – средняя ширина силуэта, *б* – коэффициент корреляции Мантеля между матрицей расстояний и бинарной матрицей принадлежности к кластерам. По оси абсцисс – количество кластеров

Максимальное значение средней ширины силуэта для проб, отобранных на территории Пустынского заказника, также наблюдается для четырех кластеров (рис. 6.6 *а*). Коэффициент корреляции Мантеля (рис. 6.6 *б*) же достигает максимума при разбиении на три кластера. Поскольку значения коэффициентов корреляции Мантеля для разбиения на 3–5 кластеров очень близки, по совокупности двух показателей следует остановиться на разбиении итоговой классификации проб Пустынской озерно-речной системы на 4 кластера.

Для всех водных объектов результаты анализа показателей оптимальности разбиения на кластеры с применением двух других метрик сходства оказались аналогичны изложенным выше, поэтому они здесь не приводятся.

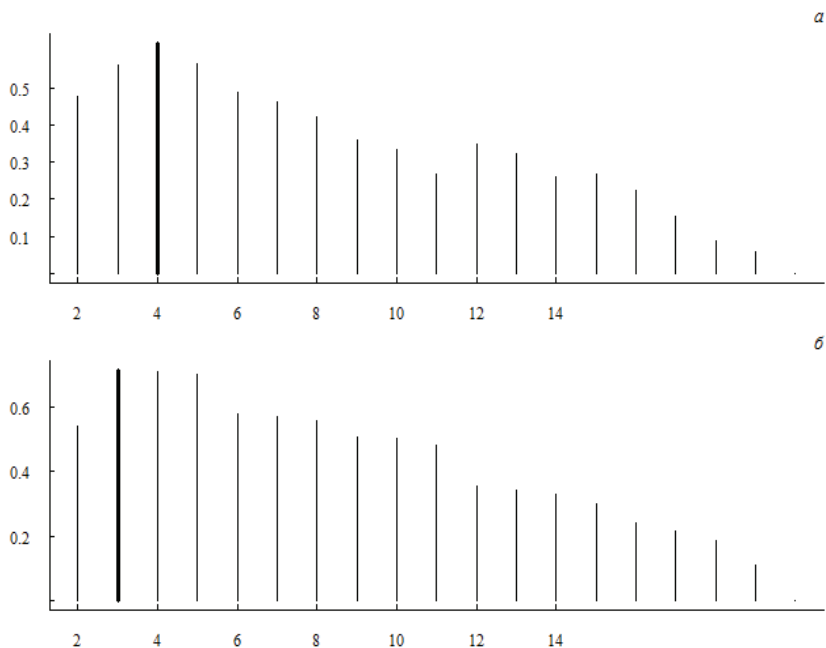


Рис. 6.6. Количественные показатели оптимальности разбиения на кластеры проб зоопланктона Пустынской озерно-речной системы в соответствии с иерархической классификацией по методу средней связи с применением косинуса угла между векторами: *а* – средняя ширина силуэта, *б* – коэффициент корреляции Мантеля между матрицей расстояний и бинарной матрицей принадлежности к кластерам.

По оси абсцисс – количество кластеров

Рассмотрим итоговые дендрограммы кластеризации исследуемых зоопланктоценозов по методу средней связи с разбиением на четыре кластера для трех метрик сходства. В обоих случаях результаты классификации очень близки для всех трех метрик.

При классификации проб зоопланктона р. Линды всеми методами в отдельный кластер выделяются первая станция и группа станций (со 2 по 7) в верхнем течении р. Линда (рис. 6.7). Однако имеются различия в классификации станций в нижнем течении. Классификация на основе евклидова расстояния объединяет в кластеры ст. 8–10 и 11–14, присоединяя к последней группе

ст. 6. Две другие классификации выделяют как отдельные кластеры две станции нижнего течения (13, 14) и все оставшиеся (8–12).

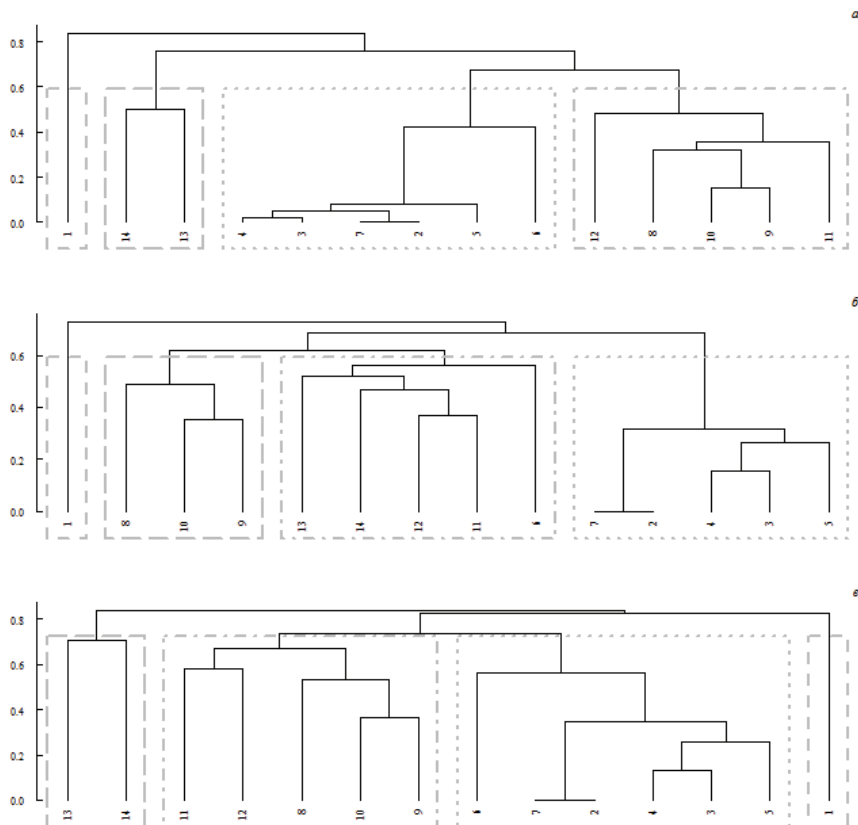


Рис. 6.7. Дендрограммы иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда методом средней связи с разбиением на четыре кластера: *а* – косинус угла между векторами, *б* – евклидово расстояние, *в* – индекс Ренконена. Соответствующие кластеры выделены одинаковым типом линии. Остальные обозначения, как на рис. 3

Неоднозначные результаты классификации проб зоопланктона р. Линда с использованием разных метрик требуют более подробного анализа различий между выделяемыми кластерами, для чего можно воспользоваться графиками силуэтов (рис. 6.8). Станции на этих графиках сгруппированы по итогам классификации, ширина силуэта для каждой станции представлена в виде горизонтального столбца. При этом для станции, выделенной в отдельный кластер (ст. 1), ширина силуэта не рассчитывается, и она не учитывается при расчете

средней ширины силуэта. Как следует из графиков, в классификации на основе косинуса угла между векторами (рис. 6.8 *а*) ширина силуэта положительна для всех станций, что свидетельствует о хорошем выделении кластеров. Увереннее всего выделяется кластер в среднем течении реки (ст. 2–7). В классификации на основе евклидова расстояния силуэт существенно уже (рис. 6.8 *б*), наименее уверенно выделяется кластер проб нижнего течения реки (ст. 11–14) и ст. 6. Последняя станция имеет фактически нулевую ширину силуэта, что свидетельствует о ее пограничном положении между двумя кластерами, а ст. 11 имеет отрицательную ширину силуэта, что свидетельствует о том, что она, вероятно, классифицирована неоптимально.

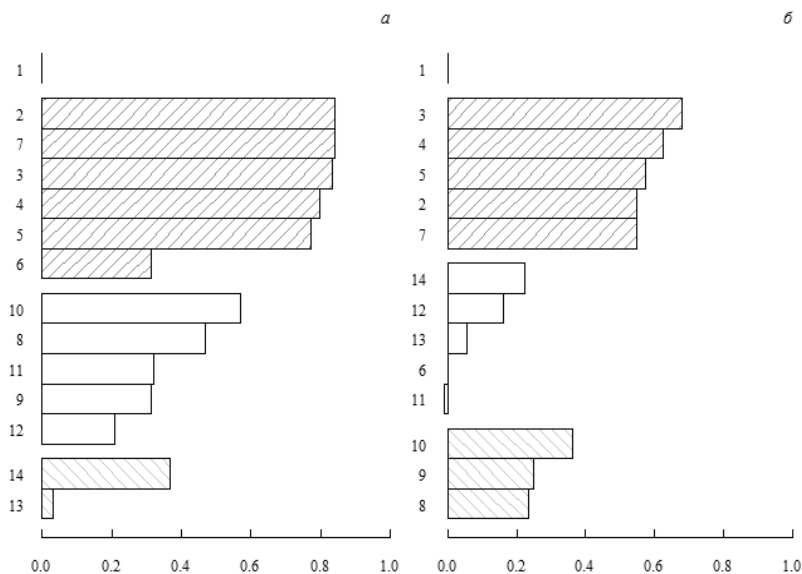


Рис. 6.8. Графики силуэтов иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда по методу средней связи с разбиением на четыре кластера. Кластеры выделены разным типом штриховки. *а* – косинус угла между векторами, *б* – евклидово расстояние. По оси абсцисс – ширина силуэта s_i , по оси ординат – номера станций

Для проб зоопланктона Пустынской озерно-речной системы разбиение на кластеры аналогично для используемых трех метрик (рис. 6.9). Все методы выделяют в отдельные кластеры станции, принадлежащие оз. Свято (ст. 18–20), оз. Великому (ст. 9–11). В отдельный кластер выделяются станции переходной области р. Серёжа – оз. Великое (ст. 5–8), за исключением ст. 6, которая входит в следующий, четвертый кластер. Он также объединяет станции, относящиеся к речным участкам р. Серези (1–4) и Протоки (12–17). Следует отметить, что эти

станции в зависимости от используемой метрики группируются внутри кластера по-разному.



Рис. 6.9. Дендрограммы иерархической кластеризации зоопланктоценозов Пустынской озерно-речной системы методом средней связи с разбиением на четыре кластера: *а* – косинус угла между векторами, *б* – евклидово расстояние, *в* – индекс Ренконена. Обозначения кластеров: «В» – зоопланктоценоз оз. Великое; «П» – переходный зоопланктоценоз между р. Сережей и оз. Великим; «С» – зоопланктоценоз оз. Свято; «Р» – речные участки р. Сережи и Протоки

Заслуживает внимания и тот факт, что классификации с помощью различных метрик по-разному группируют выделенные кластеры. В частности, классификация с использованием индекса Ренконена объединяет кластеры оз. Великого и оз. Свято, а кластер переходного зоопланктоценоза оказывается ближе к зоопланктону речных участков Протоки и р. Сережи. В то же время, менее удачной на первый взгляд может показаться классификация на основе косинуса угла между векторами, где дальше всех от других кластеров отстоит сообщество оз. Великого, а остальные три кластера сгруппированы вместе, причем кластер оз. Свято находится ближе к переходному сообществу между р. Сережей и оз. Великим. Такая картина может объясняться тем, что косинус угла между векторами в большей степени учитывает вклад в видовую структу-

ру доминирующих видов. Например, в зоопланктоне олиготрофного оз. Свято в состав доминирующих видов входят коловратки *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) и *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), в то время как в более эвтрофированном оз. Великом доминируют *Trichocerca cylindrica* (Imhof, 1891) и *Daphnia cucullata* (Sars, 1862). Закономерно, что видовая структура зоопланктоценозов двух озер в итоговой классификации значительно различается. При этом, и в сообществе зоопланктона оз. Свято, и в переходном сообществе между р. Сережей и оз. Великим главными доминантами являются копеподитные и, в меньшей степени, науплиальные стадии веслоногих ракообразных, что и привело к объединению этих двух кластеров в итоговой дендрограмме.

Более подробно оценить различия между кластерами, выделяемыми на основе косинуса угла между векторами и индекса Ренконена, можно на основе анализа графиков силуэтов (рис. 6.10). Наименее уверенно обе метрики выделяют ст. 9, характеризующуюся наименьшей шириной силуэта. Также в классификации на основе индекса Ренконена относительно небольшой шириной силуэта характеризуются ст. 5 и ст. 6. Однако и для классификации с использованием косинуса угла, и для классификации на основе индекса Ренконена ширина силуэта положительна для всех станций, что говорит о хорошем выделении кластеров.

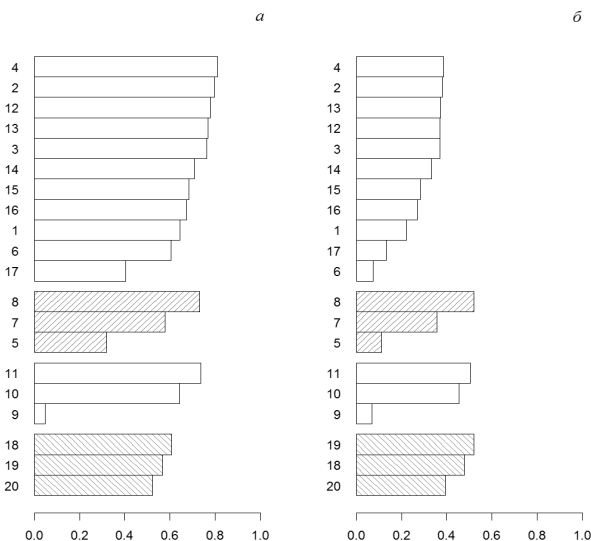


Рис. 6.10. Графики силуэтов иерархической кластеризации зоопланктоценозов Пустынской озерно-речной системы по методу средней связи с разбиением на четыре кластера. Кластеры выделены разным типом штриховки. *а* – косинус угла между векторами, *б* – индекс Ренконена. По оси абсцисс – ширина силуэта s_i , по оси ординат – номера станций

Результаты проведенного анализа в обоих случаях позволили выделить четыре кластера станций. При этом, для р. Линда кластеры станций располагаются в соответствии с их расположением по ходу течения реки. Станция 1 отличается отсутствием коловраток, численным преобладанием ветвистоусого рачка *Alona rectangula* (Sars, 1861), а также копеподитных стадий веслоногих ракообразных. Станции 2–7 характеризуются малой представленностью ветвистоусых ракообразных, численным преобладанием коловратки *Euchlanis dilatata* (Hauer, 1939) и ювенильных стадий веслоногих ракообразных. Станции 8–12, выделенные в третий кластер, характеризуются доминированием по численности коловратки *Euchlanis lyra* (Hudson, 1886), которая редко встречалась на ст. 2–7. Вторым по численности доминантом в данном кластере остается *E. dilatata*. Наконец, в четвертом кластере (ст. 13–14) доминирует по численности ветвистоусый рачок *Ascomperus harpae* (Baird, 1834), который появляется только в нижнем течении реки. К числу доминантов здесь также относятся *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), *Euchlanis dilatata* и *Daphnia galeata* (Sars, 1864).

На акватории Пустынской озерно-речной системы течение вдоль русла р. Сережа является замедленным, ввиду чего, по всей видимости, пробы зоопланктона при кластеризации не группируются по порядку. Однако в целом результаты данной кластеризации также позволили выделить отдельные сообщества зоопланктона исследуемых водных объектов. Как уже упоминалось, для зоопланктона оз. Свято (ст. 18–20) характерно доминирование науплиальных и копеподитных стадий веслоногих ракообразных, также в число доминантов входят эупланктонные коловратки *Kellicottia longispina* и *Keratella cochlearis*. Зоопланктон оз. Великого (ст. 9–11) характеризуется доминированием копеподитных стадий веслоногих ракообразных, коловратки *Trichocerca cylindrica* и ветвистоусого рачка *Daphnia cucullata*. В зоопланктоне переходной области между р. Сережа и оз. Великое (ст. 5, 7–8) выражено значительное доминирование копеподитных, и в меньшей степени – науплиальных стадий веслоногих ракообразных. Зоопланктон оставшихся проб, вошедших в четвертый кластер (ст. 1–4, 6, 12–17) характеризуется в большей степени значительным доминированием науплиальных стадий Copepoda. Наряду с ними, в состав доминантов на некоторых участках входили коловратка *Trichocerca cylindrica* и рачок *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785).

Таким образом, в обоих случаях выделенные кластеры различаются по видовой структуре зоопланктона, в том числе по составу и численности доминирующих видов.

Отдельного обсуждения заслуживает высокая синхронность результатов, полученных на основе трех разных метрик сходства. С одной стороны, все три метрики основаны на количественных данных о представленности видов зоопланктона и сильно коррелируют между собой. Для данных р. Линда коэффициент корреляции Пирсона между косинусом угла между векторами и евклидо-

вым расстоянием составляет 0.86, между косинусом угла и индексом Ренконена – 0.93, между евклидовым расстоянием и индексом Ренконена – 0.84.

Сходство результатов анализа на основе евклидова расстояния и косинуса угла между векторами неудивительно. При использовании в анализе относительной представленности видов точки, изображающие сообщества, расположены на части единичной сферы в первом 2^5 -танте многомерного пространства. При этом евклидово расстояние будет характеризоваться хордой, а угловое расстояние между векторами – дугой, опирающейся на эту хорду. Евклидово расстояние и косинус угла между векторами рассчитываются на основе квадратичной функции, что ведет к усилению вклада доминирующих видов. Напротив, индекс Ренконена не использует возведения в квадрат, т.е. вклад видов в значение индекса пропорционален их представленности. Тем не менее, исследование структуры сообществ зоопланктона р. Линды показывает, что наиболее близки результаты кластерного анализа на основе угла между векторами и индекса Ренконена. Это связано с тем, что евклидово расстояние – не оптимальный индекс при изучении структуры сообществ, поскольку матрица данных в этом случае характеризуется большим числом нулевых представлений (Legendre, Legendre, 2012).

Таким образом, были представлены современные подходы к классификации гидробиологических проб на основе различных метрик сходства видовой структуры. Особое внимание уделено вопросам количественного обоснования метода расчёта расстояний между совокупностями объектов (методы объединения), а также оптимального числа кластеров в итоговой классификации. На примере анализа пространственной структуры сообществ зоопланктона р. Линды и Пустынской озерно-речной системы показано, что для объектов данного типа наиболее адекватный алгоритм классификации – метод средней связи, который меньше всего искажает матрицу расстояний между объектами. В итоговых классификациях на основе трех метрик выделено по четыре кластера. Наиболее осмысленные с биологической точки зрения результаты получены с использованием косинуса угла между векторами и индекса Ренконена, тогда как классификация на основе евклидова расстояния оказалась менее удачной. Изложенные подходы позволяют принимать количественно обоснованные решения относительно ключевых элементов классификации. Несмотря на то, что эти методы не статистические по своей природе, они позволяют исследователю существенно снизить субъективность результатов кластерного анализа.

Литература

1. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах // Зоопланктон и его продукция. – Л.: Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, 1982. – 33 с.

2. Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 139–214.
3. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
4. Черепенников В.В., Шурганова Г.В., Артельный Е.В. Использование многомерного векторного анализа для оценки пространственного размещения зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища // Экологические проблемы бассейнов крупных рек: Тез. докл. Междунар. конф. Тольятти, 2003. – С. 303.
5. Черепенников В.В., Шурганова Г.В., Гелашвили Д.Б., Артельный Е.В. Исследование различий видовой структуры основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища методом многомерного анализа // Изв. Самарск. науч. центра РАН. – 2004. – Т. 6. № 2 (12). – С. 328–333.
6. Шурганова Г.В., Кудрин И.А., Ильин М.Ю., Черепенников В.В. Характеристика пространственной и видовой структуры зоопланктона и оценка качества вод рек Кудьма и Линда Нижегородской области // Вода: химия и экология. – 2014. – № 1. – С. 28–35.
7. Шурганова Г.В., Черепенников В.В. Методы выделения и идентификации сообществ гидробионтов // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть VII. Уч. пос. – Нижний-Новгород: Нижегород. гос. ун-т, 2011. – С. 121–155.
8. Borcard D., Gillet F., Legendre P. Numerical ecology with R. New York: Springer, 2011. 306 p.
9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. 2015. URL: <http://www.R-project.org/>.
10. Gower J.C. Comparing classifications // Numerical Taxonomy. Berlin: Springer-Verlag, 1983. S. 137–155.
11. Jain A.K., Dubes R.C. Algorithms for clustering data. New Jersey: Prentice Hall, 1988. 320 p.
12. Jost L., Chao A., Chazdon R.L. Compositional similarity and β (beta) diversity // Biological diversity. Frontiers in measurement and assessment. Oxford: Oxford Univ. Press, 2011. P. 66–84.
13. Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. Oxford: Elsevier, 2012. 990 p.

ГЛАВА 7. ЭЛЕМЕНТЫ ЛАНДШАФТНОЙ ЭПИДЕМИОЛОГИИ

Ландшафтная эпидемиология – сравнительно новое направление в современной биологии и медицине. Ландшафтная эпидемиология (эпидемиологическая география или эпидемиология географическая) – это раздел эпидемиологии, изучающий особенности эпидемиологического процесса в различных географических условиях (Шкарин, 2010). Цель ландшафтной эпидемиологии – изучение совокупности возникаемых болезней на определенной территории, и разработка мероприятий по их профилактике. Предметом изучения ландшафтной эпидемиологии является эпидемический процесс: непрерывное взаимодействие на видовом и популяционном уровнях возбудителя-паразита и восприимчивых организмов-хозяев в определенных природных условиях, проявляющееся клиническими и бессимптомными формами природно-очагового инфекционного заболевания, т.е. процесс возникновения и протекания природно-очаговых болезней на определённой территории в определённое время среди групп людей и животных. В основе ландшафтной эпидемиологии лежит ландшафтная экология. Переносчики и возбудители заболеваний, как правило, находятся в определенной природной зоне, а их количество и распределение контролируют именно экологические факторы.

В зависимости от особенностей распространения по территориям земного шара различают повсеместные (космополитические, убиквитарные) и эндемические инфекционные болезни. Повсеместными могут быть как антропонозные (передающиеся человеку от человека) инфекции, так и зооантропонозные (передающиеся человеку от животных). *Зооантропонозы* – группа инфекционных (паразитарных) болезней, общих для человека и животных (Шкарин, Благонравова, 2010).

Повсеместные зооантропонозы обычно связаны с наиболее распространенными видами позвоночных животных – источниками возбудителей этих инфекций, и, в частности, с наиболее распространенными видами домашних животных. Вместе с тем, существует значительное число болезней, распространение которых ограничено территориальными рамками либо вследствие ограниченности области распространения источника или переносчика возбудителей, либо вследствие определенных условий, необходимых для развития возбудителя вне организма источника (в организме переносчика или вне его). Такие болезни *называются эндемическими или природно-эндемическими* (Громашевский, 1949).

Экологическая зависимость возбудителей от животных определяет характерную ландшафтную приуроченность природных очагов многих зооантропонозов. В основе такой приуроченности лежат связи животного населения ландшафтов с живыми и неживыми факторами окружающей среды. К живым (биотическим) факторам относится, прежде всего, растительный покров. Характер

растительных сообществ (травяные, моховые, кустарничковые тундры; широколиственные, смешанные, хвойные леса; переувлажнённые луга в долинах рек; кочкарниковые травяные болота западносибирской озерной лесостепи и др.) во многом определяет видовой состав животного населения, кормовые и защитные условия обитания зверей и птиц, их численность, роль в прокормлении кровососущих членистоногих, которые служат переносчиками возбудителей. Все это может благоприятствовать или, наоборот, препятствовать распространению возбудителей и определяет возможность существования природных очагов.

В свою очередь, растительность зависит от неживых (абиотических) факторов – таких, как рельеф земной поверхности, почвы и подстилающие их породы, климат. В составе растительных сообществ находит отражение общий характер местообитаний, в том числе и таких, с которыми связаны природные очаги болезней. Поэтому характер растительного покрова играет роль своеобразного индикатора, который косвенно указывает на возможность существования природных очагов в конкретных ландшафтах. Это позволяет предположительно судить о скрытой опасности заражения человека и проводить целенаправленные работы для выявления природных очагов, их оздоровления (путём мелиорации, расчистки лесов, истребления кровососущих членистоногих и др.) и предупреждения заболеваний среди местного и приезжего населения.

В результате детального изучения природной эндемичности зооантропозов Е.Н. Павловским и его учениками в 1938 году было создано *учение о природной очаговости инфекционных болезней. Природно-очаговые инфекции* – инфекционные заболевания, возбудители которых циркулируют на территории природных очагов без участия человека (Шкарин, Благодрава, 2010).

Природный очаг подразумевает местность или территорию, в пределах которой возбудитель болезни непрерывно циркулирует. Природный очаг болезни существует в условиях определенного климата, определенной растительности, почвы и благоприятного микроклимата тех мест, в которых ютятся переносчики, доноры и реципиенты возбудителя. Другими словами, природный очаг болезни свойствен определенному географическому ландшафту (Павловский, 1964).

Разрабатывая учение о ландшафтной приуроченности природноочаговых болезней, Е. Н. Павловский (1964) установил зависимость распределения природных очагов некоторых болезней по ландшафтными зонам. Выявленная связь отдельных болезней с определенными типами ландшафтов позволила ему выдвинуть термин «*ландшафтная эпидемиология*».

Ландшафтные зоны разнообразны: тундры, лесотундры, тайга, смешанные леса, лесостепи, степи, полупустыни, пустыни и т.д. Ландшафты рассматриваются не только в горизонтальной (широтной) поясности, но и в вертикальной направленности, физически измеряемой высотой над уровнем моря. Ступенчатая смена распространяется и на следующие друг за другом ландшафтные широтные зоны. Высотная ступенчатость идет тем выше, чем южнее лежит соответствующая ландшафтная зона. Но надо понимать, что ландшафтные зоны

не имеют четко обозначенных границ, и, в связи с этим, при переходе одной зоны в другую, образуются промежуточные зоны, где господствуют сочетания различных природных условий. Там, где одна зона переходит в другую, также происходит и взаимное проникновение животных, что, соответственно, меняет состав фауны. В зоне, расположенной на стыках разных ландшафтов, могут существовать природные очаги болезней, в отдельности свойственные каждой ландшафтной зоне, так называемые «сочетанные очаги». Эта идея, высказанная П. А. Петрищевой в 1955 г., имеет большое практическое значение и позволяет предсказать возможную степень опасности для людей и сельскохозяйственных животных той или иной территории. Кроме того, определенная ландшафтная приуроченность свойственна не только типичным природно-очаговым болезням, но и тем, которые в процессе эволюции приобрели смешанные природно-хозяйственные черты. К таким заболеваниям относятся столбняк, сибирская язва, бруцеллез, лептоспироз, некоторые гельминтозы. Это обусловлено разнообразием и прочностью остаточных связей возбудителей с природной средой, а также тем, что многие виды хозяйственной деятельности определяются общим характером природных условий и использованием естественных ресурсов (пушной и рыбный промыслы, пастбищное животноводство и др.).

С ландшафтной структурой в значительной мере связана устойчивость природных очагов. В однотипном ландшафте, как правило, не возникает прочных, длительно действующих очагов. В противоположность этому сложный, мозаичный ландшафт наиболее благоприятен для образования и существования пространственных группировок свободно живущих видов; численность хозяев возбудителя инфекции здесь постоянная и способствует циркуляции и продолжительному сохранению возбудителей болезней (Шляхов и др., 1979).

По мнению Е. Н. Павловского (1964), эколого-паразитологический и микробиологический анализы условий существования природных очагов болезней на фоне географических ландшафтов позволяют определить показатели, по которым можно прогнозировать природные очаги болезней даже на таких территориях, где еще не зафиксированы соответствующие заболевания у людей.

Усилиями отечественных исследователей и практических работников здравоохранения получены многочисленные материалы, которые позволяют судить о распространённости заразных болезней, общих для животных и человека. В настоящее время можно выделить несколько групп зооантропонозов, каждая из которых отличается характером распространённости эпизоотических очагов, связью их с определёнными ландшафтами и путями заражения человека.

Так, выделяется группа инфекций и инвазий, природные очаги которых приурочены к определённой ландшафтной зоне, совсем не встречающиеся в другой зоне или встречающиеся там очень редко. Прежде всего, это – трансмиссивные зооантропонозы. По определению Е. Н. Павловского (1960), природная очаговость трансмиссивных болезней, т.е. болезней, возбудители которых передаются кровососущими членистоногими, – это явление, когда возбудитель, специфический его переносчик и животные-резервуары возбудителя в

течение смены своих поколений неограниченно долгое время существуют в природных условиях независимо от человека, как по ходу своей эволюции, так и в настоящий период. Следовательно, особенность природноочаговых инфекций заключается в том, что они имеют в природе эволюционно возникшие очаги, существование которых обеспечивается последовательным переходом возбудителя такой болезни от донора к реципиенту обычно при посредничестве кровососущих беспозвоночных (трансмиссивно). Природные очаги трансмиссивных зооантропонозов не выходят за границы ареалов переносчиков. В свою очередь, видовой состав и численность последних во многом зависят от климатических факторов, например, от соотношения тепла и влаги, которое характерно для той или иной природной зоны. Этими моментами определяются наличие и ландшафтная приуроченность зооантропонозов, природные очаги которых поддерживаются за счёт передачи возбудителей клещами, москитами и некоторыми видами комаров (клещевой энцефалит, крым-конго и омская геморрагические лихорадки, клещевой риккетсиоз, японская речная лихорадка (Цуцугамуши), клещевой боррелиоз (болезнь Лайма), лейшманиозы). В некоторых случаях (японский энцефалит, лейшманиозы, лихорадка цуцугамуши и др.) температурный фактор имеет значение не только для развития переносчиков, но и для размножения в них самого возбудителя; ниже определённой температуры воздуха концентрация возбудителя не достигает предела, необходимого для дальнейшего процесса его передачи.

Характерные закономерности в ландшафтной приуроченности природных очагов наблюдаются также среди инфекций и инвазий нетрансмиссивного характера. Это – геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, бешенство, лептоспирозы, альвеококкоз, эхинококкоз. В природных очагах нетрансмиссивных инфекций возбудитель циркулирует между животными-хозяевами без участия переносчиков, как, например, это происходит при бешенстве, когда возбудитель передается при контакте с животными-хозяевами, или при лептоспирозе, когда возбудитель передается через воду и т. д. При таких инфекциях возбудитель может циркулировать в природе на протяжении неопределенно долгого времени. Человек может заболеть природноочаговой инфекцией, лишь случайно став в активном природном очаге реципиентом возбудителя. Во всех таких случаях, как указывает Е. Н. Павловский, скорее повинны обстоятельства социального характера, подводящие человека под влияние биотических факторов, складывающихся и движимых законами природы.

7.1. ЛАНДШАФТНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ЗОН

Территория России расположена в пределах нескольких природных зон (рис. 1). Приуроченность очагов зооантропонозов к определённым ландшафтам позволяет дать характеристику основных природных зон с точки зрения скрытой опасности заражения человека. Зооантропонозы в значительной мере опре-

деляют *краевую патологию* населения, т.е. комплекс болезней, характерный для жителей конкретной территории в связи с её природными особенностями, типом хозяйства и бытовыми навыками людей. Знание краевой патологии необходимо для правильного планирования лечебных, профилактических и противоэпидемических мероприятий в соответствии с местными условиями (Перадзе и др., 1981).

7.1.1. ЗОНА ТУНДРЫ И ЛЕСОТУНДРЫ

Зона тундры и лесотундры занимают лишь около 10% всей территории РФ и характеризуются суровыми природными условиями. Зона лесотундры относится к лесным зонам, располагается в субарктическом поясе, и охватывает территорию от Кольского полуострова до побережья реки Индигирки, весьма заболочена из-за отсутствия испарения влаги при низких температурах. Деревья здесь растут благодаря рекам, которые питаются за счет талых снегов. Леса здесь расположены небольшими островками на пустынных территориях. Характерными для этой зоны являются ель, пихта, сосна и множество разнообразных кустарников.

Тем не менее, эти ландшафты имеют весьма существенное хозяйственное значение в связи с пушным промыслом (в основном песца), оленеводством, а также в связи освоением природных ресурсов.

Из зооантропонозов, требующих к себе внимания, ведущее значение здесь имеют альвеококкоз, дикование и бешенство. Важнейшим фактором природной очаговости, общим для этих болезней, является, прежде всего, высокая, но неустойчивая численность песца с характерными для него массовыми миграциями. Последние способствуют широкому рассеиванию яиц альвеококка, что в сочетании с недостатком тепла и избытком влаги обуславливает равномерно высокую потенциальную опасность тундровых ландшафтов в отношении этой тяжёлой инвазии и большой риск заражения человека.

7.1.1.1. БИОГЕЛЬМИНТОЗЫ

Сложная эпидемиологическая ситуация остается в очагах биогельминтозов – *описторхоза, дифиллоботриозов, эхинококкозов*, течение болезни при которых нередко сопровождается хронизацией процесса и необратимыми осложнениями, а в ряде случаев заканчивается летальными исходами. В структуре биогельминтозов в 2016 году на долю описторхоза приходилось 79,71 %, дифиллоботриоза – 16,80 %, эхинококкоза – 1,57 %, альвеококкоза – 0,22 (О состоянии... в РФ, 2017).

Цестодозы. Возбудителем *альвеококкоза* является *Alveococcus multilocularis*, а *эхинококкоза* – *Echinococcus granulosus*. Они характеризуются тяжёлым хроническим течением, первичным опухолевидным поражением печени, нередко с метастазами в головной мозг и лёгкие, а также во многие другие органы. Наиболее высокая заболеваемость эхинококкозом и альвеококкозом регистри-

руется там, где население занимается охотничьим промыслом и отгонным животноводством. Основными причинами неблагополучия по эхинококкозу являются: нарушение правил убоя сельскохозяйственных животных, несвоевременное проведение дегельминтизации собак и безнадзорное их содержание. Ежегодно регистрируются летальные случаи от эхинококкоза и альвеококкоза. В 2016 году зарегистрировано 57 случаев альвеококкоза (0,04 на 100 тыс. населения), из них 2 летальных, и 413 случаев эхинококкоза (0,28 на 100 тыс. населения), из них среди детей до 17 лет – 48 случаев (0,17 на 100 тыс. детей данного возраста) (О состоянии... в РФ, 2017).



Рис. 1. Природные зоны Российской Федерации

Территориальное распределение *дифиллоботриозов* в определённой мере сходно с распространённостью пойменно-болотных очагов туляремии. Это обусловлено благоприятными условиями существования промежуточных хозяев гельминта (пресноводных рыб, планктонных рачков, моллюсков) в стоячих и слабопроточных водоёмах обширных речных долин. Оптимальные условия для развития яиц лентецов и заражения промежуточных хозяев имеют место в пресных озерах с обширными хорошо прогреваемыми мелководьями и песчаным дном. *Дифиллоботриоз* – это один из гельминтозов, вызываемый ленточным червем из рода *Diphyllobothrium*, который может достигать длины 12 метров. Кроме широкого лентеца, в зонах тундры и лесотундры широко распространены другие виды дифиллоботриид, для которых окончательным хозяином, наряду с человеком, служат рыбацкие птицы.

Трематодозы. *Описторхоз* – заболевание, вызываемое паразитическими плоскими червями из рода *Opisthorchis*. Первые промежуточные хозяева – пресноводные моллюски битинииды рода *Codiella*, обитающие в пересыхающих мелководных пойменных водоёмах. Их заражение происходит путём заглатывания яйца описторха, попадающих в водоем с фекалиями конечных хозяев, вместе с илом со дна водоёма. Заражению подвержен человек и рыбацкие животные. Заражение происходит при приеме в пищу сырой, слабосоленой или недостаточно термически обработанной речной рыбы. Заболевание характеризуется поражением протоков печени, желчного пузыря и протоков поджелудочной железы. В структуре биогельминтозов на территории зон тундры и лесотундры на долю описторхоза приходится 74,4 % заболеваемости. Наиболее неблагополучными являются территории зон тундры и лесотундры Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов.

В 2016 году в РФ зарегистрированы 20,8 тыс. случаев описторхоза (14,24 на 100 тыс. населения). Среди детей до 17 лет зарегистрировано 2 104 случая (7,33 на 100 тыс. детей данного возраста). Благополучными по описторхозу являются практически все территории зон тундры, лесотундры России, примыкающие к бассейнам рек Оби, Иртыша, Томи и их притокам. (О состоянии ... в РФ, 2017).

7.1.1.2 ДИКОВАНИЕ И БЕШЕНСТВО

Дикование (вирусный энцефаломиелит тундровых животных (ВЭТЖ), арктическое бешенство) – острая тяжелая болезнь млекопитающих, преимущественно плотоядных, которая клинически у диких животных проявляется главным образом потерей страха перед человеком и собаками и у всех восприимчивых животных (включая оленей, песцов, лисиц, собак) – развитием парезов и параличей. Возбудитель — нейротропный вирус, имеющий некоторое иммунологическое родство с вирусами инфекционного энцефаломиелита лошадей, бешенства, энцефалита зверей и рассеянного энцефаломиелита человека.

Эпизоотии арктического бешенства распространены в Большеземельской тундре, на Новой Земле, Ямале, Таймыре, Камчатке, Чукотке, в Северной Якутии, то есть по всей тундровой зоне Арктики. Арктическое бешенство имеет некоторые особенности. Так, природные эпизоотические очаги приурочены к тундровым ландшафтам и совпадают с местами репродукции песца, который является основным резервуаром возбудителя. В естественных условиях вирус «дикования» патогенен (заразен) для собак, лисиц, волков, северных оленей и других видов животных, т.е. для всех зверей, которые непосредственно зависят в своем существовании от наличия обского лемминга, который может быть основным резервуаром вируса в межэпидемический период. Пути заражения арктическим вирусом – алиментарный и посредством укуса. «Дикованию» свойственна сезонность. Массовый характер заболевание приобретает зимой в холодное время года, пик приходится на IV-й квартал. В России периодичность

проявления пиков заболеваемости «дикованием» в тундровой зоне колеблется в интервале от 3-х до 6-ти лет. Вирусный энцефаломиелит тундровых животных в отличие от бешенства в естественных условиях не поражает человека.

В этой же зоне встречается и типичный вирус бешенства, но все же основная часть его ареала расположена южнее 58-й параллели, а именно: северная граница естественного распространения в Восточной Сибири проходит по 55 — 56° с. ш., а в Западной Сибири — 58° с. ш. Периодически имеют место быть заносы вируса классического бешенства в районы Крайнего Севера.

Бешенство – повсеместно распространенное особо опасное смертельное инфекционное заболевание, вызываемое вирусом бешенства *Rabies virus* (Шувалова, 2001). В тундровой зоне часты *эпизоотии* бешенства, которые определяются как широкое распространение инфекционной болезни среди одного или многих видов животных на значительной территории, с уровнем заболеваемости, существенно превышающим уровень обычно регистрируемый на данной территории.

В эпизоотическом процессе участвуют домашние (собаки, кошки) и сельскохозяйственные животные. Случаи заболевания бешенства (гидрофобии) среди населения России регистрируются ежегодно, в 2016 году отмечено 5 случаев. Последние десять лет ежегодно регистрируется 370–430 тыс. укусов, из них в 28–30 % случаев пострадавшими являются дети. Растет доля укусов дикими животными с 1,2 % в 2006 году до 2,4 % в 2016 году. Профилактика дикования и бешенства заключается в борьбе с бешенством среди животных: вакцинации (домашних, бездомных и диких животных), установлении карантина и т. д. Для вакцинации используют антирабическую вакцину.

В соответствии с требованиями национального календаря профилактических прививок (Приказ Министерства здравоохранения РФ от 21.03.2014 №125н, с изменениями и дополнениями от 16.06.2016, 13.04.2017) вакцинация против бешенства осуществляется по эпидемическим показаниям: в природных очагах и/или определенным категориям граждан. Антирабической вакциной в профилактических целях вакцинируют людей из групп риска: ветеринарные врачи; лица, работающие по отлову и содержанию безнадзорных животных; работники скотобоен; охотники, лесники, егеря. Вакцина от бешенства единственная в мире, которую вводят человеку в любом случае независимо от противопоказаний. Кроме того, вакцинацию от бешенства проводят в экстренных ситуациях: укус животного, ослонение и т.п. В таких случаях вакцина будет эффективной, если она сделана в течение 14 дней с момента укуса больным животным.

7.1.1.3. ТУЛЯРЕМИЯ

В пределах рассматриваемых зон тундры и лесотундры установлено наличие природных очагов *туляремии* тундрового типа. *Туляремия* характеризуется интоксикацией, лихорадкой, поражением лимфатических узлов. Возбудитель заболевания – мелкая бактерия *Francisella tularensis*. Носителями явля-

ются зайцы, кролики, водяные крысы, полёвки. В природных очагах периодически возникают эпизоотии. Инфекция передается человеку или непосредственно при контакте с животными (охота), или через заражённые пищевые продукты и воду, реже аспирационным путём (при обработке зерновых и фуражных продуктов, обмолоте хлеба), кровососущими членистоногими (слепень, клещ, комар и др.).

Профилактика заболевания предусматривает контроль за природными очагами туляремии, своевременное выявление эпизоотии среди диких животных, проведение дератизационных мероприятий. Вакцинация предусмотрена с профилактической целью и по эпидемическим показаниям. Профилактической вакцинации подлежат лица, проживающие на энзоотичных по туляремии территориях, а также прибывшие на эти территории и выполняющие следующие работы: сельскохозяйственные, гидромелиоративные, строительные, другие работы по выемке и перемещению грунта, заготовительные, промысловые, геологические, изыскательские, экспедиционные, дератизационные и дезинсекционные; по лесозаготовке, расчистке и благоустройству леса, зон оздоровления и отдыха населения; лица, работающие с живыми культурами возбудителя туляремии.

7.1.1.4. СИБИРСКАЯ ЯЗВА

Сибирская язва – особо опасная бактериальная инфекция, возбудитель – *Bacillus anthracis*. Споровая форма возбудителя длительно (до 100 лет) выживает во внешней среде. Основным источником заражения человека являются больные домашние животные, преимущественно травоядные. Вакцинация проводится на эпизоотичных территориях профилактически людям из групп риска (работники мясоперерабатывающих предприятий, геологам, мелиораторам и т.п.), а также по эпидпоказаниям. В 2016 г. зафиксирована эпизоотия сибирской язвы в Ямало-ненецком автономном округе среди северных оленей.

7.1.2. ЗОНЫ ЛЕСОВ

Под термином лесных зон подразумевается пространство, на котором произрастает совокупность тех или иных разновидностей деревьев, характерных для местности и климатических условий. Зоны лесов включают в себя:

– *Широколиственные леса*: представлены в центральных регионах европейской части России: Самара, Уфа и частично Орловская область. В полосе, которая охватывает 55° и 50° с. ш. растут преимущественно дубовые и липовые рощи. Ближе к югу черемухи, рябины и березы. Широколиственные леса также характерны для Дальнего Востока, в частности в долине реки Амур.

– *Мелколиственные леса*: зона мелколиственных лесов охватывает Восточно-Европейские равнины и некоторые территории Дальнего Востока. Полоса мелколиственных лесов тянется от Енисея до Урала. К мелколиственным деревьям относят березу, осину и серую ольху.

– *Тайга*: таежная лесная зона представлена хвойными деревьями, которые создают базу биологической системы региона. Таежная зона в России разделена на три основных вида: светлохвойная (сосны обыкновенные), темнохвойная (ели и пихты) и смешанная. Подлески таежной лесной зоны часто представлены кустарниками, высокими травами и мхами. К таежным лесам относятся уральские, дальневосточные, алтайские, колымские, забайкальские, сахалинские лесные горные массивы. Тайга занимает более 80% лесов Российской Федерации.

– *Смешанный лес* – лес, характеризующийся смешиванием хвойных и лиственных древесных пород. Как правило, о смешанных лесах принято говорить, когда примесь лиственных или хвойных деревьев составляет более чем 5 % от общего количества.

Среди таёжных ландшафтов Восточной Сибири, в которых практически отсутствуют природные очаги большинства зооантропонозов, выделяется Центрально-Якутская низменность. Своеобразные природные условия этой территории (низменный рельеф, обширные поймы крупных рек, широкое распространение приозерных лугов и пр.) обуславливают существование здесь пойменно-болотных очагов туляремии, активных очагов альвеококкоза (Перадзе и др., 1981). В таежной зоне альвеококкоз распространён преимущественно на территории Красноярского, Хабаровского, Алтайского краев, в Томской и других областях. Спорадически заболевание также регистрируют в Татарстане (О состоянии ... в РФ, 2017). В зоне таежных лесов зафиксированы случаи заболеваемости описторхозом в Тюменской, Томской областях и Республике Алтай. Также в зоне таежных лесов фиксируются случаи бешенства.

Зона лесов (смешанных, широколиственных, мелколиственных и таёжных), характеризующаяся теплообеспеченностью, обуславливает возможность существования иксодовых клещей. Инфекции, передающиеся клещами (ИПК), по-прежнему, представляют серьезную проблему для здравоохранения страны. Актуальность ИПК как группы инфекций обусловлена широким распространением этих инфекций на территории России. Регистрируемая частота контактов населения с клещами остается постоянной и находится на уровне 400–550 тыс. обращений в год. На сегодняшний день одной из основных особенностей этих инфекций является многообразие возбудителей и их способность существовать совместно в одном клеще, вызывая сочетанную форму (микст-форму) инфекции в разных комбинациях. Эпидемиологическое неблагополучие в отношении ИПК наблюдается в регионах Сибири, Приволжья, а также в некоторых субъектах Северо-Западного и Центрального федеральных округов (О состоянии...в РФ, 2017).

7.1.2.1. КЛЕЩЕВОЙ ВИРУСНЫЙ ЭНЦЕФАЛИТ

Клещевой вирусный энцефалит (КВЭ) распространен и регистрируется на меньшем количестве территорий нашей страны, однако актуальность проблемы сохраняется ввиду возможности развития тяжелых форм болезни, высоким удельным весом инвалидизации, ежегодно регистрируемыми летальными исхо-

дами. Клещевой вирусный энцефалит (КВЭ, весенне-летний клещевой менингоэнцефалит) – природно-очаговая вирусная инфекция, характеризующаяся лихорадкой, интоксикацией и поражением серого вещества головного мозга (энцефалит).

Районы распространения клещевого энцефалита – средняя полоса России, Северо-Западный регион, Поволжье, Сибирь, Урал и Дальний Восток (О состоянии в РФ, 2017).

Естественным резервуаром вируса и его источником являются более 130 видов различных теплокровных диких и домашних животных и птиц, в частности, дикие копытные (Борисов, 2002).

В 2016 году зарегистрировано 2 035 случаев КВЭ (1,39 на 100 тыс. населения). На этом фоне выросло число летальных исходов (32 – в 2016 г., 28 – в 2015 г.), которые по-прежнему связаны с поздним обращением населения за медицинской помощью, несвоевременной постановкой диагноза, отсутствием вакцинации.

7.1.2.2. КЛЕЩЕВОЙ БОРРЕЛИОЗ

Первое место по распространенности и частоте регистрации среди группы инфекций передающихся клещами занимают *иксодовые клещевые боррелиозы* (ИКБ). Случаи отмечаются почти повсеместно, в 2016 году в 74 из 85 территорий страны ИКБ были зарегистрированы среди населения. Всего в 2016 году выявлено 6 101 случай ИКБ (4,17 на 100 тыс. населения), по сравнению с 2015 годом заболеваемость снизилась на 18,1 %, что отражает циклический характер ее динамики, а также эффективность проводимых мероприятий (О состоянии... в РФ, 2017). В зонах лесов, эндемичных по клещевому энцефалиту, нередко встречается системный *клещевой боррелиоз (Болезнь Лайма)*. Эти болезни имеют сходные симптомы: в анамнезе – наличие факта укуса клеща, температурная реакция, недомогание, головная боль, миалгии, артралгии, признаки поражения нервной системы (до парезов конечностей и атрофии мышц). В 2016 году в 1,4 раза снизилась заболеваемость иксодовым клещевым боррелиозом, зарегистрировано 107 случаев (О состоянии... в РФ, 2017).

В 70 – 80-х гг. отечественные экологи запретили обрабатывать территории от клещей при помощи известного инсектицида ДДТ, поскольку на тот момент было доказано его токсичное, кумулятивное действие. Прекращение дезинсекции территорий от клещей, привело к массовым распространениям клещей и вспышкам клещевого энцефалита на многих территориях нашей страны (Мельников, 1985).

7.1.2.3. ГЕМОРРАГИЧЕСКАЯ ЛИХОРАДКА С ПОЧЕЧНЫМ СИНДРОМОМ

Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом – острая вирусная природно-очаговая болезнь, характеризующаяся лихорадкой, общей интоксикацией, своеобразным поражением почек и развитием тромбогеморрагического

синдрома. Резервуаром возбудителя служат мышевидные грызуны. У мышей эта инфекция проявляется в виде латентного вирусоносительства. ГЛПС характеризуется цикличностью заболеваемости, что отражается в росте или снижении показателей на некоторых территориях России, обусловленных, в основном местными природно-климатическими условиями. Инфекцией, которая составляет около трети в структуре заболеваемости всеми природно-очаговыми и зооантропонозными инфекциями (35 %), является *геморрагическая лихорадка с почечным синдромом* (ГЛПС). Случаи заболевания зарегистрированы на 44 территориях Российской Федерации с наиболее высокой заболеваемостью в субъектах лесных зон. Интенсивность эпизоотического процесса в субъектах РФ зависит от сложного комплекса факторов, которые определяют численность лесных видов полёвок – хозяев возбудителя. Наиболее активные природные очаги существуют в тех ландшафтах, где состав лесов и климатические особенности обеспечивают хорошую кормовую базу и благоприятные условия зимовки зверьков.

Заболеваемость наблюдается во многих регионах РФ. В последние годы в России наиболее активные очаги существуют между Волгой и Уралом (Удмуртия, Башкортостан, Мари-Эл, Мордовия, Татарстан (по убыванию от 42,25 до 20,09 на 100 тыс. населения).

По результатам эпидемиологических обследований очагов ГЛПС установлено, что инфицирование заболевших на территории зон лесов (широколиственных, таежных лесов) было разным. Владимирская область – 15 случаев, Ивановская – 2, Московская – 2, Воронежская, республика Марий-Эл, Тульская область, Кировская область, республика Мордовия по 1 случаю (О состоянии... в РФ, 2017).

Распознавание ГЛПС проводят с учетом эпидемиологических данных (пребывание в эндемичных очагах, уровень заболеваемости, сезонность) и характерной клинической симптоматики (острое начало, сочетание лихорадки, общей интоксикации с поражением почек, геморрагическим синдромом, изменения мочи – цилиндры, значительное количество белка: крови – лейкоцитоз, увеличение плазматических клеток, повышение СОЭ и др.). ГЛПС нужно дифференцировать от гриппа, лептоспироза, клещевого энцефалита, брюшного тифа, клещевого риккетсиоза и от других геморрагических лихорадок.

7.1.2.4. ЛЕПТОСПИРОЗ

Сильно изменённые в результате сельскохозяйственного освоения лесные ландшафты европейской части России, характеризуются также наличием природных очагов *лептоспироза*. Последние приурочены, как правило, к низменным местностям с травяными болотами и кочкарными переувлажнёнными лугами, а также к поймам рек. В зоне лесов высокий уровень инфицирования лептоспирозом фиксируется в Мордовии и Тульской области.

Основным резервуаром лептоспирозной инфекции в природе являются различные виды грызунов: серые крысы, полевка обыкновенная, полевка ры-

жая, полевка темная, полевка-экономка и др. Природные очаги лептоспироза чаще встречаются в поймах рек, озер, на заболоченных и влажных участках, где обильная болотная растительность (осока, камыш и др.), ягоды и семена являются кормовой базой грызунов. От больных грызунов, у которых лептоспироз, как правило, протекает хронически, инфекция передается контактным, водным и пищевым путем. Таким образом, основным фактором передачи лептоспир от больных животных человеку является вода. В последние годы заболеваемость лептоспирозом в России колеблется в пределах 0,8-1,6 на 100 тыс. населения. Заболевания людей в природных очагах характеризуются строгой приуроченностью к летне-осеннему периоду.

В условиях природных и антропоургических очагов лептоспирозов в отношении групп риска в зависимости от эпидемической обстановки решается на местах вопрос об их иммунизации. Плановой иммунизации от лептоспироза подлежат сотрудники лабораторий, работающие с патогенными лептоспирами (в любое время года), а также лица, направляемые на строительные и сельскохозяйственные работы в места активно действующих природных и антропоургических очагов лептоспироза (за месяц до начала работы в них). Для вакцинации людей от лептоспироза применяют убитую поливалентную вакцину, которую вводят двукратно с интервалом в 7 дней. Ревакцинация проводится через год – однократно. Лицам, подвергнувшимся риску заражения, в целях экстренной профилактики лептоспироза назначаются антибактериальные препараты в течение 5 дней.

Лептоспироз распространен в таёжной зоне Западной Сибири (приурочен к поймам крупных рек) и на Дальнем Востоке (Среднее Приамурье, бассейн Усури, Приханкайская низменность). В тайге Средней и Восточной Сибири природные очаги лептоспироза встречаются редко. Это объясняется, прежде всего, характером рельефа, отсутствием пойменных лугов в глубоко врезуемых долинах рек и широким распространением сухих остепнённых лесов.

7.1.2.5. Орнитоз

Известны также подвижные перемещающиеся природные очаги болезней. О таких очагах можно говорить, когда животным, представляющим природные резервуары соответствующих возбудителей, свойственны сезонные или периодические миграции. Подвижны, например, очаги орнитоза, так как носителями и распространителями возбудителя этой болезни являются дикие птицы, в том числе перелетные. *Орнитоз* – острое инфекционное заболевание, характеризующееся лихорадкой, общей интоксикацией, поражением лёгких, центральной нервной системы, увеличением печени и селезёнки. Возбудителем заболевания является бактерия *Chlamydophila psittaci* из числа хламидий в организме человека развивается внутриклеточно, во внешней среде сохраняется до 2-3 недель. Резервуаром возбудителя и источником заражения являются домашние и дикие птицы, в том числе голуби. Наиболее подвержены заболеванию лица, постоянно контактирующие с птицами. Заболевание чаще встречается в холодное вре-

мя года. Заражение в большинстве случаев происходит аэрогенным (воздушно-пылевым) путём – при вдыхании пыли, содержащей хламидии (высохшие частички испражнений птиц, а также выделения из клюва, загрязненные частицы пуха). Больные орнитозом опасности для окружающих не представляют. Заболеваемость в России – 0,02 на 100 тыс. населения. Эффективной вакцины для профилактики орнитоза не существует.

Нижегородская область является примером промежуточной зоны: расположена в зонах южно-таёжных, смешанных и широколиственных лесов, а также лесостепи. Южно-таёжные и подтаёжные (смешанные) зоны находятся в Левобережье, а широколиственные леса и лесостепи в Правобережье.

На территории Нижегородской области за последние 10 лет регистрируется спорадическая заболеваемость туляремией. В 2016 году проявил свою активность природный очаг туляремии пойменно-болотного типа, охватывающий г. Дзержинск, Балахнинский и Володарский районы, а также Автозаводский район города Нижнего Новгорода, в которых за период с июня по июль зарегистрировано 5 случаев заболевания. Заражение людей происходило в природных очагах в результате укусов инфицированными кровососущими членистоногими в поселке Новое Доскино Автозаводского района, пос. Горбатовка г. Дзержинска, пос. Игуминово г. Дзержинска, пос. 1 Мая Балахнинского района. В последние годы на территории Нижегородской области регистрировалась спорадическая заболеваемость КВЭ. В 2016 году зарегистрировано 3 случая заболевания. Инфицирование произошло в Нижегородской области (Ветлужском и Богородском районах). (О состоянии... в Нижегородской области, 2017). Показатель заболеваемости клещевым боррелиозом в 2016 году снизился в 1,4 раза и составил 3,36 на 100 тыс населения (107 случаев). Уровень заболеваемости ГЛПС на территории Нижегородской области с 2004 года в 3 раза превышает соответствующий уровень по территории Российской Федерации. В 2016 г. на территории Нижегородской области зарегистрировано 390 случаев ГЛПС, в том числе 4 случая среди детей до 14 лет.

В 2016 году в 0,6% проб воды (2 случая в Богородском и Автозаводском районах) – были выявлены возбудители лептоспироза. Заболеваемости среди людей не отмечалось.

В июне 2017 года в Сормовском районе Нижнего Новгорода была зарегистрирована вспышка орнитоза. Предыдущий случай орнитоза птиц регистрировался на территории города Нижний Новгород в 2013 году.

В 2016 году в 17 районах области зарегистрировано 36 случаев бешенства среди животных, причем 2 в Нижнем Новгороде, 48 человек пострадали от укусов больных бешенством животных.

7.1.3. ЛЕСОСТЕПНАЯ И СТЕПНАЯ ЗОНЫ

Лесостепная и степная зоны в целом характеризуются наличием природных очагов бешенства и альвеококкоза. Это обусловлено высокой численностью лисицы и различных грызунов, составляющих основу ее кормовой базы.

Домашние животные, как правило, заражаются от больных лис. Также в этой зоне существуют очаги туляремии луго-полевого и степного типов на Приволжской и Ставропольской возвышенностях (Перадзе и др., 1981). Очаги лептоспироза приурочены к заболоченным долинам рек Кубань и Терек, а также мелких рек Северного Кавказа; в 2016 году выявлены 3 случая заболевания в Самарской области и Краснодарском крае. Активные очаги ГЛПС существуют в Самарской и Ульяновской областях. В Омской области распространен также описторхоз.

7.1.3.1. ГЕМОРРАГИЧЕСКАЯ ЛИХОРАДКА КРЫМ-КОНГО

Геморрагическая лихорадка Крым-Конго (КГЛ) – острое инфекционное заболевание человека, передающееся через укусы клещей *Hyalomma marginatus*, *Dermacentor marginatus*, *Ixodes ricinus*, либо при проведении инъекций или заборе крови, вызываемое вирусом геморрагической лихорадки Крым-Конго. Природный резервуар возбудителя – грызуны, крупный и мелкий рогатый скот, птицы, дикие виды млекопитающих, также сами клещи, способные передавать вирус потомству через яйца, и являющиеся вирусоносителями пожизненно. Источник возбудителя – больной человек или инфицированное животное. Заболевание характеризуется лихорадкой, выраженной интоксикацией и кровоизлияниями на коже и внутренних органах. Впервые выявлено в 1944 году в Крыму. В 1956 году в Конго было выявлено схожее заболевание, вызванное вирусом, полностью идентичным крымскому. В 2016 году выявлено 162 случая, показатель составил (0,11 на 100 тыс. населения). Большинство случаев (около 70 %) наблюдалось на территории Ростовской области и Ставропольского края, 25 случаев зарегистрировано в Республике Калмыкия, показатель составил 8,94 на 100 тыс. населения. Этот показатель является самым высоким за последние 8 лет (О состоянии... в РФ, 2017).

7.1.3.2. ОМСКАЯ ГЕМОРРАГИЧЕСКАЯ ЛИХОРАДКА

Омская геморрагическая лихорадка (ОГЛ) – это острая вирусная зоонозная природно-очаговая болезнь с трансмиссивным механизмом передачи возбудителя, характеризующаяся волнообразной лихорадкой, общей интоксикацией, развитием геморрагического синдрома и вегето-сосудистой дистонии, а также поражением ЦНС, лёгких, почек и относительно доброкачественным течением. Основной источник и резервуар вируса – иксодовые клещи (вирус передаётся трансовариально и в процессе метаморфоза). Кроме того, в природных очагах резервуаром могут быть грызуны (полёвки, мыши, крысы, бурозубки, ондатры, бурундуки, водяные крысы и др.). Заражение людей происходит через укус клещами, воздушно-пылевым путём от грызунов, контактным – при разделке туши животных и алиментарным – при употреблении сырой озёрной воды. Естественная восприимчивость людей высокая: вирус поражает все возрастные группы населения, но преимущественно заболевают лица в возрасте

20-40 лет (в основном промысловые рабочие и люди, занятые на полевых работах в лесостепных районах). Природные очаги омской геморрагической лихорадки известны преимущественно в Тюменской, Новосибирской областях, Курганской, Оренбургской областях. Чётко выражена сезонность заболеваемости: первый подъём наблюдают в весенне-летние месяцы (май-июнь) – период активности клещей (трансмиссивный путь передачи); второй – в осенние месяцы (сентябрь-октябрь) в период отлова ондатры (нетрансмиссивный путь передачи) (Бутенко, Трусова, 2013).

7.1.3.3. Лихорадка Западного Нила

Лихорадка Западного Нила – острое вирусное зооантропонозное природно-очаговое заболевание, с трансмиссивным механизмом передачи, характеризующееся полиаденопатией, эритемой и воспалением менингеальных оболочек, протекающих на фоне лихорадочно-интоксикационного синдрома. Возбудитель – РНК-содержащий вирус, относящийся к семейству тогавирусов, роду флаво-вирусов. Источник и резервуар (хранитель) – птицы водно-околоводного комплекса, переносчик – комары. Путь заражения – трансмиссивный (т.е. через укус комаров). Эндемичные области – Краснодарский край, Омская и Волгоградская области. В 2016 году выявлены случаи заболевания ЛЗН в Астраханской, Воронежской, Саратовской, Самарской, Липецкой областях.

7.1.3.4. Японская речная лихорадка (цугугамуши)

Цугугамуши (японская речная лихорадка) – острый природно-очаговый трансмиссивный риккетсиоз, характеризующийся первичным эффектом, лимфаденопатией. Возбудитель – *Rickettsia tsutsugamushi* (*R. orientalis*). Источник инфекции – личинки краснотелковых клещей родов *Leptotrombidium* и *Neofroinbicula*, которые нападают на людей и животных для кровососания. Личинка питается только один раз и только на одном хозяине. По степени тяжести выделяют лёгкое течение, течение средней тяжести и тяжёлое течение. По форме заболевание может протекать субклинически и атипично. Уровень и сезонность заболеваемости зависит от активности клещей (июль–сентябрь).

Штаммы риккетсии, выделенные в России (Приморский край), в большинстве оказались маловирулентными, высокопатогенные штаммы риккетсии цугугамуши выделялись в южном Приморье, южном Сахалине и на о. Шикотан.

7.1.3.5. Клещевой сыпной тиф

Клещевой сыпной тиф – острое риккетсиозное заболевание, характеризующееся лихорадкой, наличием первичного аффекта и полиморфной сыпью на коже. Возбудитель – *DermacentroIxenus sibirica*. Резервуаром возбудителя в природе являются суслики, хомяки, полевки, бурундуки, переносчиками – ик-

содовые клещи, которые способны передавать риккетсии своему потомству трансовариально, поэтому они также являются природным резервуаром риккетсий. Человеку клещевой сыпной тиф (клещевой риккетсиоз) передается через укус клещей. Мероприятия по борьбе с заболеванием включают уничтожение клещей во внешней среде и применение средств индивидуальной защиты от нападения и укусов клещей. Природные очаги клещевого сыпного тифа обнаруживаются на Дальнем Востоке, в Красноярском крае, Кемеровской, Иркутской, Новосибирской и Читинской областях, Алтайском крае, т.е. приурочены не только к равнинным лесостепям и степям, но также к степным ландшафтам предгорий.

7.1.4. ЗОНА ПУСТЫНЬ И ПОЛУПУСТЫНЬ

В России в этих зонах расположена Астраханская область. Здесь регистрируются такие заболевания как бруцеллез, лихорадка Западного Нила, Крымская геморрагическая лихорадка. С наибольшей частотой выявляются ку-риккетсиоз и астраханская пятнистая лихорадка. Этим зонам в целом свойственны устойчивые и широко распространённые природные очаги клещевых спирохетозов. Основными предпосылками их существования являются повсеместная распространённость клещей, их видовое разнообразие, высокая и устойчивая численность, большой процент норовых форм. Весьма существенно, что аргасовые клещи, населяющие норы и убежища млекопитающих, отличаются долговечностью, продолжительными циклами развития и способностью к длительному голоданию, которое не ведёт к отмиранию в их организме возбудителей.

7.1.4.1. КЛЕЩЕВОЙ СПИРОХЕТОЗ, РИККЕТСИОЗЫ

Клещевые спирохетозы – острые инфекционные заболевания, вызываемые несколькими видами спирохет рода *Borrelia*, циркулирующих в природных и поселковых очагах пустынных ландшафтов среди аргасовых клещей и различных видов млекопитающих. Известны случаи, когда переболевшие вновь заражались и переносили инфекцию в тяжелой форме после присасывания клещей другого или даже аналогичного вида, но в ином природном очаге.

Среди иксодовых клещей пустынных и полупустынных ландшафтов также имеется значительное количество видов, ведущих норовый образ жизни и поддерживающих эпизоотический процесс в популяциях грызунов (прежде всего песчанок). Своеобразна ландшафтная приуроченность и распространённость *эпизоотических очагов Ку-риккетсиоза*. Наряду с природными очагами, большое значение имеют здесь и хозяйственные. Распространение инфекции среди крупного и мелкого рогатого скота происходит не только при участии клещей, но и другими путями (алиментарным, контактным). Поддержанию эпизоотического процесса способствует значительная устойчивость риккетсий во внешней среде. *Ку-риккетсиоз* – острая природно-очаговая зоонозная инфекционная бо-

лезнь, возбудителем которой является *Rickettsia*. Резервуаром возбудителя в природе являются более 60 видов теплокровных животных, около 50 видов птиц и более 70 видов клещей. Основным источником инфекции для человека являются сельскохозяйственные животные, прежде всего большая и малая рогатый скот, домашние птицы – куры, гуси, индюки подобное. В очагах инфекции проводят борьбу с клещами, животных обрабатывают инсектицидами. В целях предотвращения алиментарного заражения людей не следует употреблять сырое молоко. Показатель заболеваемости в 2017 году – 9,49 на 100 тыс. населения.

Астраханская пятнистая лихорадка (АПЛ) – риккетсиоз, возбудитель – *Rickettsia conorii*. Болезнь протекает в виде лихорадки, сопровождающейся сыпью, чаще всего с благоприятным исходом. Основной резервуар и переносчик возбудителя – иксодовый клещ *Rhipicephalus pumilio*, также резервуаром риккетсий могут быть собаки и другие дикие и домашние животные, у которых инфекционный процесс развивается, очевидно, бессимптомно. Заражение человека происходит при укусах клеща. Сезонность заболеваемости связана с периодом активности клещей: заражение людей возможно с конца весны до начала осени. В 2017 году показатель заболеваемости составил 17 на 100 тыс. населения (О состоянии... в РФ, 2017).

7.1.4.2. ЧУМА

Чума — острая особо опасная природно-очаговая инфекционная болезнь, характеризуется тяжелой интоксикацией, лихорадкой, поражением кожи, лимфатических узлов, легких, может давать септические формы. Возбудитель – *Yersinia pestis*. Трансмиссивный зооноз, источник инфекции — грызуны, а также верблюды. Специфические переносчики – блохи. Природные очаги в России в расположены в зоне степей, пустынь и полупустынь: в Читинской области, в Туве, в Горном Алтае, в Калмыкии, Дагестане, в Волгоградской и Астраханской областях.

7.2. ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОЧАГИ ЗООАНТРОПОНОЗОВ

Изменения, которые вносит хозяйственная деятельность человека в природную среду, могут по-разному влиять на судьбу природных очагов болезней. Во многих случаях рациональное преобразование естественных ландшафтов приводит к сокращению и даже полной ликвидации очагов.

Однако нередко и обратное положение: изменение природной обстановки ведёт к преобразованию первичных природных очагов во вторичные, иногда даже более активные. Может иметь место и формирование очагов новых для данной местности инфекций.

Так, полное сведение лесов с последующей распахкой земель приводит к ликвидации существовавших природных очагов клещевого энцефалита. Вместе с тем, если на вырубках возникают вторичные (обычно мелколиственные – березовые, осиновые, ольховые) леса с травяно-кустарниковым ярусом, это приводит к активизации очагов. Такое положение объясняется тем, что на зарастающих вырубках резко увеличивается численность диких млекопитающих и птиц, являющихся прокормителями иксодовых клещей – переносчиков вируса. Улучшаются и условия развития самих иксодид. Все это приводит к резкому росту их численности, усилению циркуляции вируса и, как следствие, к увеличению потенциальной опасности заражения людей. Формированию вторичных очагов также способствует использование зарастающих вырубков для выпаса скота, так как животные обеспечивают прокормление огромных количеств взрослых клещей. В тех районах, где во владении жителей имеется большое число коз, выпас этих животных имеет и непосредственные эпидемиологические последствия.

Сельскохозяйственное преобразование лесных ландшафтов, особенно выборочное, приводит к расширению биотопов, благоприятных для обитания обыкновенной полёвки, полевой мыши и лугового клеща *Dermacentor pictus*. В результате происходит формирование очагов туляремии луго-полевого типа, а также распространение эпизоотий геморрагической лихорадки с почечным синдромом (ГЛПС) за пределы лесных массивов.

Частичное сведение лесов и замещение их сельскохозяйственными угодьями создает благоприятные условия для существования лисицы. Рост численности этого зверя, наряду с положительным значением (истреблением полевых грызунов), может иметь и отрицательные последствия. В частности, это приводит к резкой активизации существовавших ранее и к возникновению новых очагов альвеококкоза, что обуславливает и рост заболеваемости этой тяжелой инвазией местного населения (Шляхов и др., 1979).

Распахка целинных степей приводит к ликвидации основной массы первичных (природных) очагов туляремии и клещевого риккетсиоза Северной Азии. Следует, однако, иметь в виду, что сохранившиеся степные очаги туляремии могут резко активизироваться в условиях подъема численности полевых грызунов. Это происходит, как правило, при нарушении агротехнических требований (некачественная и запоздалая уборка зерновых, хранение их до обмолота в скирдах и т.д.), что сопровождается миграциями грызунов, скоплением их в скирдах, стогах, усиленным размножением и возникновением среди них

Строительство оросительной сети в пустынных ландшафтах и вызванное этим повышение влажности почвогрунтов в ряде случаев приводят к увеличению численности moskitov и активизации природных очагов кожного лейшманиоза.

Пастбищное животноводство в степных и полупустынных ландшафтах при отсутствии специальных мер борьбы с иксодовыми клещами может приводить к росту их численности и активизации природных очагов крымской геморрагической лихорадки, Ку-риккетсиоза, клещевого риккетсиоза.

Особое место в воздействии на природные очаги зооантропонозов занимает гидротехническое строительство. Создание водохранилищ приводит к затоплению и ликвидации ряда крупных пойменноболотных очагов туляремии. С другой стороны, изменения гидробиологического режима могут привести к возникновению предпосылок формирования в водохранилищах очагов дифиллоботриоза.

Заключение

Таким образом, преобразование и последующее хозяйственное использование естественных ландшафтов может иметь как положительное, так и отрицательное значение для борьбы с болезнями, общими для животных и человека. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке и осуществлении проектов освоения новых районов, а также дальнейшего преобразования природы на уже освоенных территориях.

В последние годы все большее внимание уделяется вопросам оценки потенциальной опасности ландшафтов в связи с наличием природных очагов и разной степенью риска заражения в них человека. Знание ландшафтной приуроченности очагов, определенных зооантропонозов помогает прогнозировать скрытую эпидемическую опасность той или иной территории. Это имеет чрезвычайно важное значение для профилактики заболеваний среди населения, участвующего в освоении и преобразовании природы. Такая профилактика должна осуществляться с учётом особенностей краевой инфекционной патологии и ландшафтной эпидемиологии заразных болезней, общих для человека и животных.

Ландшафтная эпидемиология может быть использована при моделировании рисков заболеваний и предотвращении их. С появлением различных компьютерных программ, стало возможно применение анализа инфекционных и паразитических заболеваний относительно ландшафтной экологии.

Литература

1. Бешенство: (этиология, патогенез, и профилактика) / Академия медицинских наук СССР, Институт вирусологии им. Д. И. Ивановского; под ред.: П. Н. Косякова, Р. М. Шен, Л. П. Горшуновой. – М.: Гос. изд-во мед. лит., 1958. – 21 с.
2. Борисов Л. Б. Медицинская микробиология, вирусология, иммунология. 3 изд. – М., 2002. – 310 с.
3. Бутенко А.М., Трусова И.Н. Заболеваемость Крымской геморрагической лихорадкой в странах Европы, Африки и Азии (1943–2012) // Эпидемиология и инфекционные болезни. – 2013. – № 5. – С. 48.
4. Громашевский Л.В. Общая эпидемиология. – М.: Гос. изд-во мед. лит., 1949. – 320 с.

5. Мельников Н.Н., Новожилов К.В., Белан С.Р., Пылова Т.Н. Справочник по пестицидам. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государственный доклад. М.: Роспотребнадзор, 2017. 220 с.
7. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Нижегородской области в 2016 году: Государственный доклад. Нижний Новгород: Роспотребнадзор, 2017. 260 с.
8. Павловский Е. Н. Современное состояние учения о природной очаговости болезней // Природно-очаговые болезни человека. – М., 1960. – С. 6–40.
9. Павловский Е.Н. Природная очаговость трансмиссивных болезней в связи с ландшафтной эпидемиологией зооантропонозов. – М., 1964. – 211 с.
10. Перадзе Т.В., Вершинский Б.В., Облапенко Г.П. Руководство по инфекционным и инвазионным болезням, общим для животных и человека. – Л.: Медицина, 1981. – 280 с.
11. Петрищева П.А. Эпидемиологическое значение территорий на стыках ландшафтов // Природная очаговость болезней человека и краевая эпидемиология – М.-Л.: Медгиз, 1955. С. 95–106.
12. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 21.03.2014 №125н «Об утверждении национального календаря профилактических прививок и календаря профилактических прививок по эпидемическим показаниям» с изменениями и дополнениями от 13.04.2017
13. Шкарин В.В., Благоданова А.С. Термины и определения в эпидемиологии: словарь. – Н. Новгород: Изд-во НижГМА, 2010. – 300 с.
14. Шляхов Э.Н., Андриеш Л.П., Груз Е.В. Справочник по лабораторной диагностике зооантропонозов. – Изд-во Картя Молдовеняскэ, 1979. – 279 с.
15. Шувалова Е. П. Инфекционные болезни. – М.: Медицина, 2001. – 152 с.

ГЛАВА 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВОВ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

В современном быстро развивающемся мире перед человеческим обществом остро стоят вопросы по ограничению негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности человека. Одной из первоочередных задач на пути снижения негативного воздействия на окружающую среду является контроль за перемещением и утилизацией отходов, образующихся в результате производственной деятельности любого предприятия. Вид и компонентный состав отходов зависит от специфики работы организации: домоуправляющие компании занимаются организованным сбором твёрдых коммунальных отходов (ТКО) с жилых домов; на авторемонтных предприятиях (автосервисах), проводящих обслуживание и ремонт автомобилей, в виде отходов оказания услуг образуются автомобильные покрышки, камеры, аккумуляторы, моторное масло; в отделениях банков образуется макулатура и т.д. Рассмотрим ниже иерархию последовательных процедур (порядок обращения с отходом), которые обязательно должен проходить отход в отдельно взятой организации с момента его образования до переработки или захоронения на полигоне.

В настоящее время действия юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в области обращения с отходами производства и потребления регламентируются *Федеральным законом от 10 января 2002 года N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»* (с изменениями на 29 июля 2017 г.) (далее – *Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ*) и *Федеральным законом от 24 июня 1998 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»* (в редакции, действующей с 1 января 2017 г.) (далее – *Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ*).

Категории объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

В соответствии со *ст. 4_2. Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (внесена Федеральным законом от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации»)* объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду (НВОС), в зависимости от уровня такого воздействия подразделяются на четыре категории (см. табл. 8.1).

Таблица 8.1

Категории объектов, оказывающих негативное воздействие
на окружающую среду

Категория НВОС объекта	Характеристика уровня воздействия на окружающую среду
Объекты I категории	объекты, оказывающие значительное негативное воздействие на окружающую среду и относящиеся к областям применения наилучших доступных технологий
Объекты II категории	объекты, оказывающие умеренное негативное воздействие на окружающую среду
Объекты III категории	объекты, оказывающие незначительное негативное воздействие на окружающую среду
Объекты IV категории	объекты, оказывающие минимальное негативное воздействие на окружающую среду

Присвоение объекту, оказывающему негативное воздействие на окружающую среду, соответствующей категории осуществляется при его постановке на государственный учёт объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, в соответствии с критериями, изложенными в *Постановлении Правительства РФ от 28.09.2015 г. №1029 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий»*.

8.1. ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

В соответствии со *ст. 67 Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ* в целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, а также в целях соблюдения требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством в области охраны окружающей среды, юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах I, II и III категорий негативного воздействия на окружающую среду, разрабатывают и утверждают программу производственного экологического контроля, осуществляют производственный экологический контроль в соответствии с установленными требованиями, документируют информацию и хранят данные, полученные по результатам осуществления производственного экологического контроля.

В рамках производственного экологического контроля проводится, в том числе, инвентаризация отходов производства и потребления и объектов их размещения. В рамках проведения инвентаризации производится сбор сведений, касающихся: 1) источников образования отходов в ходе производственного процесса в подразделениях организации; 2) количества наименований отходов, их кодов ФККО, их массы, агрегатного состояния, передачи на утилизацию, обезвреживание и размещение; 3) характеристик объектов накопления (размещения) отходов, имеющихся в структуре организации (расположение, вместимость).

8.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОТХОДОВ

Отходы, образующиеся в организации, могут различаться по степени негативного воздействия на окружающую среду. Разделение отходов на классы опасности осуществляется в соответствии с официальными критериями, установленными федеральным органом исполнительной власти. Согласно *ст. 4_1. Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ* выделяется 5 классов опасности отходов. В табл. 8.2 представлена классификация опасных отходов по степени их воздействия на окружающую среду (ОС).

Таблица 8.2

Классификация опасных отходов

№ п/п	Степень вредного воздействия опасных отходов на ОС	Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для ОС	Класс опасности отхода для ОС
1	Очень высокая	Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует	I класс, чрезвычайно опасные
2	Высокая	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия	II класс, высоко опасные
3	Средняя	Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника	III класс, умеренно опасные
4	Низкая	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3 лет	IV класс, мало опасные
5	Очень низкая	Экологическая система практически не нарушена	V класс, практически неопасные

Классификация отходов находится в центре системы по обращению с отходами. Прежде, чем юридическому лицу или индивидуальному предпринимателю вести какую-либо деятельность по обращению с отходом, необходимо выяснить его место в системе классификации отходов. Для этой цели был разработан Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО), представляющий собой иерархически выстроенную базу данных, в которой виды отходов сгруппированы по отраслям хозяйственной деятельности, и каждому виду отходов присвоено официальное название и уникальный 11-значный идентификационный номер, последняя цифра которого обозначает класс опасности.

ФККО периодически обновляется – в него добавляются новые виды отходов. Каталог имеет статус официально утверждённого документа. В настоящий момент действует редакция ФККО, утверждённого *Приказом Министрством природных ресурсов и экологии РФ № 242 от 22.05.2017 г.* Пример представления данных в ФККО приведен в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Федеральный классификационный каталог отходов
(с изменениями на 20 июля 2017 года)
БЛОК 1 (фрагмент)

Код	Наименование отхода
1 12 000 00 00 0	ОТХОДЫ ЖИВОТНОВОДСТВА (ВКЛЮЧАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО СОДЕРЖАНИЮ ЖИВОТНЫХ)
1 12 100 00 00 0	<i>Отходы разведения крупного рогатого скота</i>
1 12 110 00 00 0	<i>Навоз крупного рогатого скота</i>
1 12 110 01 33 4	навоз крупного рогатого скота свежий
1 12 110 02 29 5	навоз крупного рогатого скота перепревший
1 12 121 11 20 4	отходы подстилки из древесных опилок при содержании крупного рогатого скота
1 12 200 00 00 0	<i>Отходы разведения и содержания лошадей и прочих животных семейства лошадиных отряда непарнокопытных</i>
1 12 210 00 00 0	<i>Навоз конский</i>
1 12 210 01 33 4	навоз конский свежий
1 12 210 02 29 5	навоз конский перепревший
1 12 221 11 40 5	отходы подстилки из древесных опилок и стружки при содержании лошадей практически неопасные

8.3. ПАСПОРТИЗАЦИЯ ОТХОДОВ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ

Определив название и номер отхода в ФККО, юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, в процессе деятельности которых образуются отходы, в соответствии с *п.1 ст.14 Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ*, обязаны подтвердить отнесение соответствующего отхода к конкретному классу опасности в порядке, установленном Федеральной службой по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). Для этого в соответствии с *п.3 ст.14 Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ* на основании данных о составе отходов, оценки степени их негативного воздействия на окружающую среду составляется паспорт отходов I-IV классов опасности. На отходы V класса опасности паспорт составлять не нужно. Порядок паспортизации отходов и типовые формы паспортов отходов установлены в соответствии с *постановлением Правительства РФ №712 от 16.08.2013 г.* Порядок отнесения отхода к конкретному классу опасности осуществляется в соответствии с *приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации №541 от 05.12.2014 г. «Об утверждении Порядка отнесения отходов I-IV классов опасности к конкретному классу опасности»*.

8.4. ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ

Обращение с отходами – это деятельность по сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов.

Образующиеся в организации отходы в соответствии с *Федеральным законом от 24.06.1998 г. №89-ФЗ* могут накапливаться на предприятиях в специализированных объектах в течение срока, не превышающего 11 месяцев, после истечения которого они подлежат утилизации, обезвреживанию, захоронению или передаче другой организации, имеющей лицензию на сбор, транспортирование, обработку, утилизацию, обезвреживание, размещение отходов I-IV классов опасности, выданную Федеральной службой по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) в соответствии с *Федеральным законом от 4 мая 2011 года N 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности»* и на основе *Постановления правительства РФ №1062 от 3 октября 2015 года «О лицензировании деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I-IV классов опасности»*. На обращение с отходами V класса опасности лицензия не требуется.

Утилизация отходов – использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей

подготовки (регенерация), а также извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация).

Обезвреживание отходов – уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду.

В соответствии с п. 3.6 СанПиН 2.1.7.1322-03 (Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 г. № 80 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления»)) накопление и временное хранение промотходов на производственной территории осуществляется по цеховому принципу или централизованно. Условия сбора и накопления определяются классом опасности отходов, способом упаковки и отражаются в Техническом регламенте (проекте, паспорте предприятия, ТУ, инструкции) с учетом агрегатного состояния и надежности тары. При этом хранение твердых промотходов I класса разрешается исключительно в герметичных оборотных (сменных) емкостях (контейнеры, бочки, цистерны), II – в надежно закрытой таре (полиэтиленовых мешках, пластиковых пакетах); III – в бумажных мешках и ларях, хлопчатобумажных мешках, текстильных мешках; IV – навалом, насыпью, в виде гряд.

Накопление отходов – временное складирование отходов (на срок не более чем одиннадцать месяцев) в местах (на площадках), обустроенных в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в целях их дальнейших утилизации, обезвреживания, размещения, транспортирования.

Если нахождение отходов на территории организации превышает 11 месяцев, то дальнейшее их накопление переходит в статус «размещения отходов».

Размещение отходов – хранение и захоронение отходов.

Размещение отходов осуществляется на объектах размещения отходов.

Объекты размещения отходов – специально оборудованные сооружения, предназначенные для размещения отходов (полигон, шламохранилище, в том числе шламовый амбар, хвостохранилище, отвал горных пород и другое) и включающие в себя объекты хранения отходов и объекты захоронения отходов.

Требования к организации, строительству и эксплуатации объектов размещения отходов прописаны в ст. 12 Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ.

Хранение отходов – складирование отходов в специализированных объектах сроком более чем одиннадцать месяцев в целях утилизации, обезвреживания, захоронения.

Хранение отходов на территории организации может осуществляться только на основе лицензии по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I-IV классов опасности.

Отходы, являющиеся непригодными для дальнейшей утилизации, подлежат захоронению.

Захоронение отходов – изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду.

Наиболее массовым типом объектов захоронения отходов являются полигоны ТБО (твёрдых бытовых отходов). В настоящее время на замену термину «твёрдые бытовые отходы» (ТБО) приходит термин «твёрдые коммунальные отходы» (ТКО), однако в названии полигонов пока используется аббревиатура «ТБО».

Полигоны ТБО — это комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТКО (твёрдых коммунальных отходов), обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов (Инструкция..., 1996).

Согласно *п.6 ст.12 Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ* объекты размещения отходов вносятся в Государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО), где им присваивается идентификационный номер. Организация, передающая свои отходы на захоронение полигону ТБО, обязана самостоятельно удостовериться, что объект размещения отходов, занесён в реестр, т.к. согласно *п.7 ст.12 Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ* размещение отходов на объектах, не внесенных в государственный реестр объектов размещения отходов запрещается.

ГРОРО постоянно обновляется и доступен в сети Интернет на портале Росприроднадзора по ссылке: <http://rpn.gov.ru/node/23163>.

8.5. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КАДАСТР ОТХОДОВ

В целях создания единой информационной базы данных по классификации и движению отходов, был создан Государственный кадастр отходов (*п. 1 ст. 20 Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ*). Он включает в себя федеральный классификационный каталог отходов (ФККО), государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО), а также банк данных об отходах и о технологиях утилизации и обезвреживания отходов различных видов.

Государственный кадастр отходов ведется по единой для Российской Федерации системе. Порядок ведения государственного кадастра отходов определяется Федеральной службой по надзору в сфере природопользования (Роспри-

роднадзор). Кадастр отходов доступен в сети Интернет на портале Росприроднадзора по ссылке: <http://tpn.gov.ru/node/856>.

8.6. НОРМИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

Нормирование в области обращения с отходами осуществляется в соответствии с *гл. 5 Федерального закона от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»* и *ст. 18 Федеральным законом от 24.06.1998 г. №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»*.

Для контроля за образованием, транспортированием, обезвреживанием, утилизацией и размещением отходов, государство в соответствии со *ст. 11 Федерального закона от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ* обязывает юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при эксплуатации зданий, сооружений и иных объектов, связанной с обращением с отходами:

1) разрабатывать *проекты нормативов образования отходов и лимитов на размещение отходов (ПНООЛР)* в целях уменьшения количества их образования, за исключением субъектов малого и среднего предпринимательства;

1 января 2019 г. в соответствии с *п.2 ст.3 Федерального закона от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»* вступает в силу новая редакция *ст. 18 «Нормирование в области обращения с отходами» Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ*, в соответствии с которой необходимость разработки ПНООЛР ложится только на предприятия I и II категорий негативного воздействия на окружающую среду, для предприятий III и IV категорий разработка ПНООЛР не требуется;

2) вносить плату за негативное воздействие на окружающую среду при размещении отходов (плата за НВОС):

в соответствии со *ст. 16_1. «Лица, обязанные вносить плату за негативное воздействие на окружающую среду» Федерального закона от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»* плату за негативное воздействие на окружающую среду обязаны вносить юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие на территории Российской Федерации, континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации хозяйственную и (или) иную деятельность, оказывающую негативное воздействие на окружающую среду, за исключением юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих хозяйственную и (или) иную деятельность исключительно на объектах IV категории;

3) представлять в Федеральную службу по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) в установленном порядке необходимую информацию в области обращения с отходами (отчетность по форме 2ТП, технический отчет по обращению с отходами):

1 января 2019 г. в соответствии с п.2 ст.3 Федерального закона от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» вступает в силу новая редакция ст. 18 «Нормирование в области обращения с отходами» Федерального закона от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ, в соответствии с которой для предприятий IV категорий негативного воздействия на окружающую среду представление отчетности по обращению с отходами не требуются.

Субъекты малого (доход не более 800 млн. руб. в год и численность от 15 до 100 человек) и среднего предпринимательства (доход не более 2 млрд. руб. в год и численность от 101 до 250 человек) согласно ст. 18 Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ и Приказу Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 50 от 25.02.2010 г. «О Порядке разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение» (далее — «Порядок») освобождаются от обязанности разрабатывать проекты НООЛР и представляют в уведомительном порядке в Росприроднадзор только отчетность об образовании, утилизации, обезвреживании, о размещении отходов.

Контроль за исполнением организациями указанных обязанностей возложено на Федеральную службу по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор).

В соответствии с п.4 «Порядка» Проекты нормативов образования отходов разрабатываются на основании расчетов и имеющихся данных об удельном образовании отходов при производстве продукции, выполнении работ, оказании услуг. Нормативы образования отходов служат для определения ожидаемых количеств образующихся отходов конкретных видов с учетом планируемых объемов производства продукции, выполняемых работ, оказания услуг, числа людей, работающих на предприятии или проживающих в общежитиях.

Согласно п.4. ст.18 Федерального закона от 24.06.1998 г. №89-ФЗ разработка ПНООЛР производится в соответствии с методическими указаниями по их разработке. В настоящее время действуют «Методические указания по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение» (далее — «Методические указания»), утверждённые Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 05.08.2014 г. №349. Согласно п.3 «Методических указаний» их действие не распространяется на отношения в области обращения с радиоактивными, биологическими и медицинскими отходами. Также, регионы Российской Федерации разрабатывают свои методические указания по разработке ПНООЛР. Так, например, в Нижегородской области, согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии Нижегород-

ской области от 19. 01.2016 г. №113 «О порядке разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение», действуют собственные методические указания по разработке ПНООЛР. В зависимости от принадлежности объекта федеральному или региональному экологическому надзору составленный на него ПНООЛР проходит согласование (проверку правильности проведения расчётов, оформления документа и комплектности его приложений) в федеральном органе исполнительной власти, уполномоченном Правительством Российской Федерации (в соответствии с *Приказом № 349 от 05.08.2014 г. Министерства природных ресурсов и экологии РФ*), либо в органе исполнительной власти в области обращения с отходами субъекта Российской Федерации, где располагается объект (в соответствии с приказами региональных органов исполнительной власти).

Согласно п. 5 «Методических указаний» основными задачами при разработке ПНООЛР являются:

- 1) определение (расчет) нормативов образования отходов;
- 2) обоснование количества отходов, предлагаемых для использования и (или) обезвреживания;
- 3) обоснование количества отходов, предлагаемых для размещения в конкретных объектах размещения отходов.

В соответствии с п.9 «Методических указаний» на основании нормативов образования отходов в ПНООЛР приводятся обоснования предлагаемых нормативов образования конкретных видов отходов в среднем за год, которые указываются в тоннах в год. Расчёт нормативов образования отходов является основой проекта НООЛР.

Разработке ПНООЛР предшествует проведение инвентаризации отходов производства и потребления, в ходе которой на предприятии устанавливается перечень образующихся отходов, а также производится сбор исходных данных технологических процессов предприятия, ведущих к образованию отходов, данных о собственных объектах накопления и хранения отходов, дальнейшей передаче отходов сторонним организациям на утилизацию, обезвреживание и захоронение.

В рамках подготовки ПНООЛР производится расчёт нормативов образования отходов, даётся общая характеристика предприятия, приводятся схемы производственных процессов, приводящих к образованию отходов, сообщаются сведения о движении отходов.

На основе сведений, полученных в результате инвентаризации, о количестве видов отходов и технологических процессах, в результате которых они образуются, производится расчёт нормативов образования отходов.

Норматив образования отхода (п. 9 «Методических указаний») – установленное количество отхода конкретного вида при производстве единицы продукции».

Алгоритм расчёта годовых нормативов образования отходов в зависимости от специфики предприятия может основываться на разных методах:

- 1) метод расчета по материально-сырьевому балансу;
- 2) метод расчета по удельным отраслевым нормативам образования отходов;
- 3) расчетно-аналитический метод;
- 4) экспериментальный метод;
- 5) метод расчета по фактическим объемам образования отходов (статистический метод).

Чаще всего в практике подготовки ПНООЛР применяется метод, основанный на использовании *удельных отраслевых нормативов* образования отходов, взятых из справочного материала. В этом случае расчётную единицу (единицу произведённой продукции, единицу массы используемого сырья, единицу площади поверхности, единицу расстояния, единицу места, человека) умножают на удельный норматив образования отхода. Формула расчёта имеет вид:

$$\text{ПН}_0 = \text{Н}_0 \times Q \quad (8.1)$$

где ПН_0 – предлагаемый норматив образования отходов в среднем за год в тоннах; Н_0 – норматив образования отходов, тонн на расчетную единицу; Q – предлагаемый годовой объем выпускаемой продукции, перерабатываемого сырья, выполненных услуг, относительно которых рассчитан норматив образования отходов.

Рассчитанные нормативы образования отходов служат основой для установления лимитов на размещение установленной массы отхода на полигоне для его захоронения и, соответственно, платы за негативное воздействие на окружающую среду. Плата за НВОС взимается только за массу отходов, размещённых на полигоне, за отходы, переданные на обезвреживание и утилизацию, плата не взимается.

ПНООЛР составляется на бумажном носителе в двух экземплярах, один из которых хранится у хозяйствующего субъекта, а второй, вместе с его электронной версией на электронном носителе, представляется в соответствующий территориальный орган Росприроднадзора или Министерства природных ресурсов и экологии.

Проект НООЛР включает в себя следующие разделы:

- 1) титульный лист (*приложение № 6 к Методическим указаниям*);
- 2) структура ПНООЛР (*содержание*);
- 3) общие сведения о хозяйствующем субъекте (*полное и сокращённое наименование организации, все реквизиты и др.*);
- 4) сведения о хозяйственной и иной деятельности (*краткая характеристика и показатели хозяйственной и иной деятельности, в процессе которой образуются отходы*);
- 5) расчет и обоснование предлагаемых нормативов образования отходов в среднем за год (*расчеты нормативов образования отходов, рассчитанные (определённые) для каждого вида отхода с использованием методов опреде-*

ния (расчета) нормативов образования отходов, приведенных в разделе II данных Методических указаний);

6) сведения о предлагаемом образовании отходов (сведения о предлагаемом ежегодном образовании отходов отдельно по каждому структурному подразделению в табличном виде (приложения №8-№9 к Методическим указаниям));

7) сведения о местах накопления отходов (перечень и вместимость мест накопления отходов);

8) сведения о предлагаемой ежегодной передаче отходов другим хозяйствующим субъектам с целью их дальнейшего использования, и (или) обезвреживания, и (или) размещения (приводятся данные о предлагаемой ежегодной передаче отходов другим хозяйствующим субъектам с целью их дальнейшего использования, обезвреживания, размещения в табличном виде (приложение №11 к Методическим указаниям));

9) сведения о предлагаемом ежегодном использовании отходов и (или) обезвреживании отходов (этот раздел оформляется хозяйствующими субъектами, которые самостоятельно утилизируют и обезвреживают образующиеся отходы, сводные сведения оформляются в табличном виде (приложение №12 к Методическим указаниям));

10) сведения о предлагаемом размещении отходов на самостоятельно эксплуатируемых (собственных) объектах размещения отходов (этот раздел оформляется хозяйствующими субъектами, которые самостоятельно эксплуатируют собственные объекты размещения отходов, сводные сведения оформляются в табличном виде (приложение №13 к Методическим указаниям));

11) предложения по лимитам ежегодного размещения отходов (указываются перечень и количество видов отходов, предполагаемых к ежегодному размещению в конкретных объектах размещения отходов, в табличном виде (приложение №14 к Методическим указаниям));

12) список использованных источников (приводится перечень использованных нормативно-методических документов);

13) приложения (заверенные хозяйствующим субъектом копии документов, подтверждающих данные материально-сырьевого баланса по основному производству; заверенные хозяйствующим субъектом копии договоров на передачу отходов конкретным хозяйствующим субъектам с целью их использования, обезвреживания, размещения конкретных количеств отходов определенных видов и классов опасности; карта-схема расположения самостоятельно эксплуатируемых (собственных) объектов размещения отходов; карта-схема расположения мест накопления отходов; иные документы и материалы по усмотрению хозяйствующего субъекта).

В соответствии с «Порядком» согласование ПНООЛР начинается с процедуры подачи проекта, заявления об утверждении нормативов образования отходов и оплаты госпошлины за оказание госуслуги по проведению работ по согласованию проекта в уполномоченный территориальный орган исполнительной власти (Росприроднадзор, Министерство экологии и природных ресурсов), который в течение срока, не превышающего 30 рабочих дней с даты приема

указанных выше документов, принимает решение об утверждении нормативов образования отходов и лимитов на их размещение либо решение об отказе в их утверждении (с мотивированным обоснованием). Если по результатам рассмотрения ПНООЛР принимается решение об утверждении установленных нормативов образования отходов, организации выдаётся документ об утверждении нормативов образования отходов и лимитов на их размещение сроком на 5 лет, по истечению которого организация обязана разработать ПНООЛР заново. Датой утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение является дата принятия территориальным органом исполнительной власти решения об утверждении нормативов образования отходов и лимитов на их размещение.

В соответствии с п.12 «Порядка» юридические лица и индивидуальные предприниматели, которым выдан документ об утверждении нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, обязуются ежегодно представлять *технический отчёт по обращению с отходами* (далее — технический отчёт), разрабатываемый в соответствии с «Методическими указаниями». В технический отчет включаются сведения о фактически образованных количествах отходов, а также сведения за отчетный период о фактическом использовании, обезвреживании, хранении и захоронении отходов на самостоятельно эксплуатируемых (собственных) объектах размещения отходов, о фактической передаче отходов другим хозяйствующим субъектам.

Технический отчёт представляется в территориальный орган исполнительной власти (Росприроднадзор, Министерство экологии и природных ресурсов) в течение 10 рабочих дней со дня, следующего за датой истечения очередного года с даты утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение.

Необходимо отметить, что согласно п. 14 «Порядка» документ об утверждении нормативов образования отходов и лимитов на их размещение подлежит переоформлению в случаях изменения у юридического лица / индивидуального предпринимателя:

- 1) наименования, организационно-правовой формы юридического лица (например, из ООО в ЗАО) / фамилии индивидуального предпринимателя;
- 2) места нахождения / места жительства индивидуального предпринимателя, данных документа, удостоверяющего его личность;
- 3) государственного регистрационного номера записи о создании юридического лица / государственного регистрационного номера записи о государственной регистрации в качестве индивидуального предпринимателя;
- 4) данных документа, подтверждающего факт внесения записи о юридическом лице в Единый государственный реестр юридических лиц / данных документа, подтверждающего факт внесения записи об индивидуальном предпринимателе в Единый государственный реестр индивидуальных предпринимателей;

5) изменения данных об объектах размещения отходов – самостоятельно эксплуатируемых (собственных) объектах размещения отходов и/или об объектах размещения отходов, эксплуатируемых другими хозяйствующими субъектами, и на которые отходы индивидуальных предпринимателей и юридических лиц передаются для размещения.

8.7. ПЛАТА ЗА РАЗМЕЩЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

Механизмом экономического регулирования в области охраны окружающей среды является *плата за негативное воздействие на окружающую среду* (далее – плата за НВОС), которая подразумевает внесение в региональные бюджеты организациями денежных средств, эквивалентных массе загрязняющих веществ, выброшенных в атмосферный воздух и сброшенных в водные объекты, а также массе размещённых отходов.

В отношении отходов производства и потребления с указанных лиц плата за НВОС взимается за их размещение (хранение и захоронение). Платежной базой для исчисления платы за НВОС в данном случае являются объем или масса размещенных в отчетном периоде отходов производства и потребления.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, разработавшие и утвердившие нормативы образования отходов, осуществляют плату в пределах ставок платы, установленных для каждого класса опасности отходов отдельно и утверждённых *Постановлением Правительства РФ от 13.09.2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»*. В случае отсутствия утверждённых нормативов образования отходов либо размещения массы отходов, превышающей установленные нормативы, плата за размещение отходов взимается с применением коэффициента «5», т.е. осуществляется в пятикратном размере.

8.8. АДМИНИСТРАТИВНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НЕСОБЛЮЖДЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

Согласно *ст. 8.2 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях (КоАП РФ) от 30.12.2001 № 195-ФЗ* несоблюдение экологических и санитарно-эпидемиологических требований при сборе, накоплении, использовании, обезвреживании, транспортировании, размещении и ином обращении с отходами производства и потребления влечет наложение административного штрафа на граждан в размере от одной тысячи до двух тысяч рублей; на должностных лиц – от десяти тысяч до тридцати тысяч рублей; на лиц,

осуществляющих предпринимательскую деятельность без образования юридического лица, – от тридцати тысяч до пятидесяти тысяч рублей или административное приостановление деятельности на срок до девяноста суток; на юридических лиц – от ста тысяч до двухсот пятидесяти тысяч рублей или административное приостановление деятельности на срок до девяноста суток.

Ниже приведена обобщённая блок-схема обращения с отходами в организации.

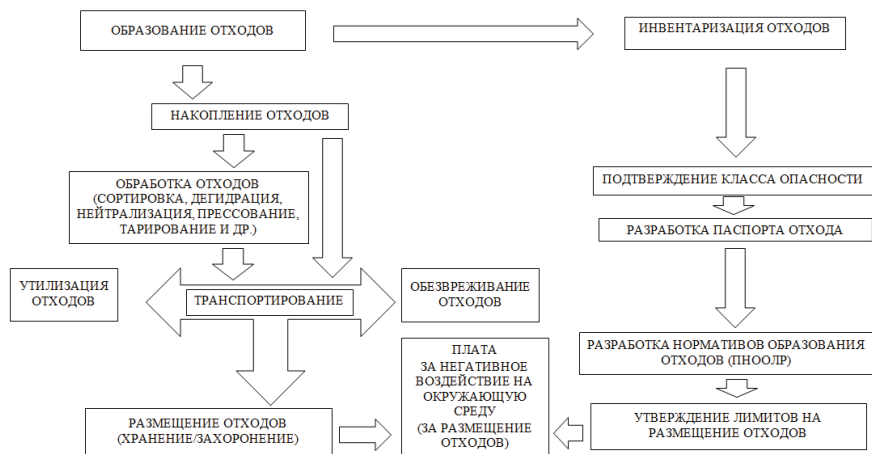


Рис. Обобщённая блок-схема обращения с отходами в организации

Таким образом осуществляется процесс обращения с отходами в организациях.

Литература

1. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 29 июля 2017 г.)
2. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (в редакции, действующей с 1 января 2017 г.)
3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 22.05.2017 г. № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (с изменениями на 20 июля 2017 г.)
4. Постановление Правительства РФ от 16.08.2013 г. № 712 «О порядке проведения паспортизации отходов I-IV классов опасности»

5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 05.12.2014 № 541 «Об утверждении Порядка отнесения отходов I–IV классов опасности к конкретному классу опасности» (с изменениями на 1 июля 2016 г.)

6. Федеральный закон от 4 мая 2011 г. № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности» (с изменениями на 29 июля 2017 г.)

7. Постановления Правительства РФ от 3 октября 2015 г. №1062 «О лицензировании деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I-IV классов опасности»

8. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 г. № 80 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления»»

9. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов, утверждена Министерством строительства РФ 05.11.1996 г.

10. Государственный реестр объектов размещения отходов / Портал Федеральной службы по надзору в сфере природопользования [Электронный ресурс]. URL: <http://rpn.gov.ru/node/23163>. (дата обращения: 01.11.2017).

11. Кадастр отходов / Портал Федеральной службы по надзору в сфере природопользования [Электронный ресурс]. URL: <http://rpn.gov.ru/node/856>. (дата обращения: 01.11.2017).

12. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 25.02.2010 г. № 50 «О Порядке разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение» (с изменениями на 25 июля 2014 г.)

13. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 05.08.2014 г. № 349 «Методические указания по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение»

14. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Нижегородской области от 19.01.2016 г. №113 «О порядке разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение»

15. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах».

16. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (с изменениями на 29 июля 2017 г.)

Список авторов пособия

Гелашвили Д.Б. – глава 7, 8
Белова И.В. – глава 7
Брагазин А.А. – глава 8
Варичев А.Н. – глава 7
Гаврилко Д.Е. – глава 6
Галиничев А.В. – глава 4
Ерофеева Е.А. – глава 1
Золотарева Т.В. – глава 6
Кудрин И.А. – глава 6
Макеев И.С. – глава 5
Нижегородцев А.А. – глава 8

Никитин Ю.Д. – глава 2
Пухнаревич Д.А. – глава 8
Романова Е.Б. – глава 3
Савинов А.Б. – глава 2
Сидоренко М.В. – глава 4
Соловьева И.В. – глава 7
Точилина А.Г. – глава 7
Шурганова Г.В. – глава 6
Юнина В.П. – глава 4
Якимов В.Н. – глава 6

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Методы использования показателей состояния растений на основе явления гормезиса и парадоксальных эффектов в целях биоиндикации (<i>Ерофеева Е.А.</i>)	4
Глава 2. Методы мониторинга ценотической активности растений (<i>Савинов А.Б., Никитин Ю.Д.</i>).....	20
Глава 3. Методы оценки иммунного статуса популяций амфибий (<i>Романова Е.Б., Шаповалова К.В.</i>)	36
Глава 4. Методы лесопатологического мониторинга (<i>Сидоренко М.В., Юнина В.П., Галиничев А.В.</i>)	52
Глава 5. Методы биоремедиации загрязненных водоемов и водотоков урбанизированной территории (<i>Макеев И.С.</i>)	74
Глава 6. Методы классификации гидробиоценозов на основании сходства видовой структуры (<i>Шурганова Г.В., Якимов В.Н., Кудрин И.А., Гаврилко Д.Е., Золотарева Т.В.</i>).....	95
Глава 7. Элементы ландшафтной эпидемиологии (<i>Соловьева И.В., Зазнобина Н.И., Варичев А.Н., Белова И.В., Точилина А.Г., Гелашивили Д.Б.</i>)	113
Глава 8. Методические основы обращения с отходами производства и потребления и разработки нормативов их образования (<i>Пухнаревич Д.А., Брагазин А.А., Нижегородцев А.А., Гелашивили Д.Б.</i>).....	134
Авторы	150

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Часть 9

Под редакцией
профессора Давида Бежановича Гелашвили

Учебное пособие

Печатается в авторской редакции

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

Подписано в печать 15.01.2018. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 8,9. Уч.-изд. л. 9.

Заказ № 7. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии Нижегородского госуниверситета
им. Н.И. Лобачевского
603000, г. Нижний Новгород, ул. Большая Покровская, 37