

**Учреждение образования
«Международный государственный экологический
институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета**



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№ 4 (38)
ОКТАБРЬ–ДЕКАБРЬ 2016**

Основан в мае 2007 года

Выходит ежеквартально

Минск
2016

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

доктор физико-математических наук, профессор **Маскевич Сергей Александрович**

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

И. В. Дардынская, профессор, Иллинойский университет в Чикаго (США)
А. П. Денисов, генеральный директор ИЧУПП «Кока-кола Бевриджиз Белоруссия» (Беларусь)
Б. Крстич, профессор, Университет г. Нови Сад (Республика Сербия)
Ю. А. Коровин, профессор, Объединенный институт ядерных исследований (Россия)
Г. Либератос, профессор, Университет г. Патрас (Греция)
Й. Сабол, профессор, Пражский технический университет (Чешская Республика)
С. Н. Степаненко, профессор, Одесский государственный экологический университет (Украина)
С. А. Степанов, профессор, Международный независимый эколого-политологический университет (Россия)
Я. Шишко, профессор, Варшавский университет естественных наук (Республика Польша)

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

С. С. Позняк , д-р с.-х. наук, проф. (зам.гл. редактора)	В. И. Красовский , канд. тех. наук, доцент
О. В. Лозинская (научный редактор)	Н. Д. Лепская , канд. фил. наук, доцент
В. Г. Баштовой , д-р физ.-мат. наук, проф.	Л. М. Лобанок , д-р мед. наук, член-корр. НАН Беларуси, проф.
С. Е. Головатый , д-р с.-х. наук, проф.	Н. А. Лысухо , канд. тех. наук, доцент
А. П. Голубев , д-р биол. наук, доцент	С. Б. Мельнов , д-р биол. наук, проф.
В. А. Иванюкович , канд. физ.-мат. наук, доцент	И. П. Наркевич , д-р тех. наук, доцент
С. П. Кундас , д-р тех. наук, проф.	А. Е. Океанов , д-р мед. наук, проф.
А. В. Кильчевский , д-р биол. наук, проф., член-корр. НАН Беларуси	Т. Ф. Персикова , д-р с.-х. наук, проф.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск,
тел. (017) 398 99 79, факс: (017) 398 99 53
E-mail: info@iseu.by
<http://www.iseu.bsu.by>

Свидетельство о государственной регистрации № 1366 от 10.06.2010,
выдано Министерством информации Республики Беларусь

Редакторы *А. В. Красуцкая, Т. А. Лавринович*
Компьютерная верстка *Д. В. Головач*
Корректор *А. В. Красуцкая*

Подписано в печать 31.12.2016 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 12,09. Уч.-изд. л. 8,17. Тираж 100 экз. Заказ 41. Бесплатно

ЗАО «Оргстрой»

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/182 от 15.02.2016.
Ул. Берестянская, 16, 220034, г. Минск

© Учреждение образования
«Международный государственный
экологический институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ.....	5
В. Н. Лучина	
К ВОПРОСУ ГАРМОНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И МЕЖДУНАРОДНОГО ПРАВА	5
И. В. Лефанова	
ФОРМИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРТОЙ НАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ОБЩЕСТВУ УСТОЙЧИВОГО ТИПА.....	9
ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ	15
А. Н. Хох, Д. Е. Кузменков	
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (<i>PINUS SYLVESTRIS</i> L.) НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА.....	15
И. В. Рышкель, О. С. Рышкель, Ю. В. Мурашко	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОТЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА.....	22
Г. В. Толкач, С. С. Позняк	
К ВОПРОСУ ПРИМЕНИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ БРЕСТСКОГО РАЙОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ.....	26
В. М. Конькова, А. В. Бурло, И. П. Наркевич	
ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ С ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ БРЕСТСКОЙ И МИНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ	33
О. М. Храмченкова, Д. Н. Дроздов, Р. И. Новиков, А. М. Савченко	
ЗАВИСИМОСТЬ НАСЕЛЕННОСТИ СТВОЛА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (<i>PINUS SYLVESTRIS</i> L.) ЛИШАЙНИКОМ <i>HYPOGYMNIA PHYSODES</i> (L.) NYL. ОТ ТИПА ЛЕСА, ВОЗРАСТА ДРЕВОСТОЯ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА КОРЫ.....	43
Д. Н. Федотов	
ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕСТРОЕК ЦИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И НАДПОЧЕЧНИКОВ УЖА ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ АРЕАЛА ОБИТАНИЯ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ.....	49
Р. К. Нагорный, Е. М. Глушень, А. С. Самсонова	
ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕПАРАТА МИКРОБНОГО «ТЭАМИН» НА ЕГО ДЕСТРУКТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ В ОТНОШЕНИИ ТРЕТИЧНЫХ АМИНОВ	56

Л. И. Прищепа, И. А. Прищепа	
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ <i>BACILLUS THURINGIENSIS</i> , ВЫДЕЛЕННЫХ В ЭКОСИСТЕМАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА».....	61
Н. И. Дроздова, Т. В. Макаренко, Е. В. Куртасова	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ.....	68
РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	75
Д. И. Комар	
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПОМЕЩЕНИЯ УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНОЙ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УПН-АТ140.....	75
В. В. Журавков	
ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ОТ ИЗОТОПОВ РАДОНА НА КРИТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ НАСЕЛЕНИЯ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	80
МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ.....	84
Т. И. Зиматкина, В. В. Богомазов	
О КУЛЬТУРЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА.....	84
ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ.....	89
А. А. Бутько, В. А. Пашинский, О. И. Родькин	
ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ ПОРОДЫ С КОРОТКИМ ПЕРИОДОМ РОСТА ИВЫ БЕЛОЙ (<i>SALIX ALBA</i>).....	89
О. С. Рышкель, Е. А. Британ	
ВСТРЕЧАЕМОСТЬ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ В ЛЕСОПАРКОВЫХ ЗОНАХ ГОРОДА МИНСКА.....	98
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....	103

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

УДК 349.6

В. Н. Лучина

*Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь*

К ВОПРОСУ ГАРМОНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И МЕЖДУНАРОДНОГО ПРАВА

В статье рассматриваются некоторые аспекты гармонизации Национального экологического законодательства Республики Беларусь и Международного права окружающей среды. Показана роль права и экологического законодательства как основной формы закрепления экологической политики нашего государства. Рассмотрена роль государства в определении стратегии природоохранительной деятельности. Проанализирован опыт экономически развитых государств по демократизации природоохранных законодательств. Затронута сложнейшая в Международном праве проблема международной ответственности государств за экологические правонарушения и преступления.

➤ **Ключевые слова:** национальное экологическое законодательство, экологическое право, право окружающей среды, государственная природоохранительная деятельность, демократизация природоохранных законодательств, защита экологических прав граждан, административная ответственность, уголовная ответственность, международная ответственность государств, Кодекс международных преступлений, международный деликт, международная ответственность государств, экологическая безопасность, экологическое правонарушение и преступление, репарация, сатисфакция.

Экологическое право как никакая другая отрасль права затрагивает повседневные потребности и интересы каждого человека. Это обстоятельство налагает на каждого гражданина Республики Беларусь, изучающего экологическое право и причастного к его реализации, особые обязанности. Каждый юрист, специалист-эколог, врач обязан внести свой вклад в решение экологических проблем. Одной из основных и постоянных функций государства является охрана природы, что говорит о государственной важности экологического права как отрасли права, как учебной дисциплины.

Человек – часть природы. Вне природы человек не сможет существовать. Чтобы построить корректные отношения с природой, человек должен быть заинтересован в получении знаний о законах и процессах эволюции Земли. Человек должен задумываться о том, что его ожидает, если не будет ограничена его разрушительная деятельность по отношению к природе. Такая важная информация может быть получена только в ходе проведения научных исследований по моделированию итоговых прогнозируемых результатов и, безусловно, применена для регулирования отношения человека к природе, для создания правовых механизмов.

Каждый гражданин имеет право, в соответствии с Конституцией Республики Беларусь, на благоприятную окружающую среду, закреплённое статьёй 46. Этой норме корреспондирует статья 55 Конституции, устанавливающая обязанность охранять природную среду [1]. Благоприятной является такая окружающая среда, которая способна удовлетворять экологические, экономические, эстетические и другие потребности человека. Как биологическое существо, как часть природы, человек должен соблюдать законы её развития, эволюции экологических систем. Соответственно, отношение человека к природе в процессе удовлетворения его потребностей за счёт природы должно быть обеспечено посредством жёсткого правового регулирования, что даст возможность сохранения благоприятного состояния природы, её качественных и количественных характеристик.

Несомненно, отношение наших граждан к природе в процессе удовлетворения своих потребностей во многом обусловлено низким уровнем правосознания, экологических знаний и экологической культуры. Уничтожение природы – результат безнаказанности, нравственного падения общества,

удручающего уровня общей и экологической культуры. Для последовательного решения проблем окружающей среды необходимо опираться на экологическое право и рассматривать его как основной ресурс в решении экологических проблем [2].

Важнейшим элементом экологической политики нашего государства являются цели восстановления благоприятного состояния окружающей среды, а также стратегия и тактика их достижения. Государство определяет стратегию природоохранительной деятельности, т. е. способы достижения намеченных целей. Безусловно, главный из этих способов – это право, в рамках которого регламентируется использование разнообразных правовых средств, таких как оценка воздействия планируемой деятельности на окружающую среду, нормирование, экспертиза, сертификация, лицензирование, аудит, мониторинг, контроль и др. Экологическое законодательство – основная форма закрепления экологической политики государства. Также, немаловажный способ достижения намеченных целей в решении экологических проблем – это целенаправленная подготовка экологов-специалистов в области права, экономики, техники, биологии, социологии и др. [3].

Привлечение к природоохранительной деятельности широких слоёв населения – один из важных способов восстановления благоприятного состояния окружающей среды. Демократизация экологического права проявляется в создании организационных и правовых условий для участия граждан и заинтересованных общественных объединений (формирований) в подготовке и принятии экологически значимых управленческих, хозяйственных и иных решений. Для сравнения, в экономически развитых государствах, таких как США, Великобритания, Япония, ФРГ, одной из наиболее действенных и распространённых форм защиты экологических прав граждан является право каждого гражданина предъявлять иск о несоблюдении требований природоохранительного законодательства. По мнению американских юристов, судебные иски граждан – самый сильный и действенный инструмент в борьбе за защиту природы, так как обычные граждане имеют право и судятся с влиятельными оппонентами из промышленных, правительственных, олигархических кругов, принуждая их следовать законодательству.

В экономически развитых странах законодательством об окружающей среде предусмотрена административная ответственность за нарушение его требований. Для Великобритании и США самой распространённой формой административной ответственности (наказания) является штраф. Он рассматривается, как разновидность гражданско-правовой ответственности, так как взыскивается в судебном порядке. К примеру, в США гражданско-правовая ответственность за нарушение законодательства «О контроле загрязнения окружающей среды» установлена в размере штрафа до 25 тыс. долл. за один день нарушения законодательства [4].

За умышленное нарушение конкретных положений Закона «О качестве воды, качестве воздуха, об отходах» в США может быть наложен уголовный штраф до 25 тыс. долл. за один день нарушения, либо тюремное заключение до одного года, либо то и другое. При повторном нарушении – и штраф и срок заключения удваиваются. Уголовная ответственность за экологические преступления в США наступает за умышленное нарушение требований законодательства.

Одним из самых животрепещущих вопросов для права окружающей среды экономически развитых стран является возмещение вреда, причинённого нарушением законодательства об окружающей среде. Возмещение вреда, причинённого нарушением экологического законодательства, в странах континентальной системы права регулируется гражданским правом. В странах общего права – на основе таких институтов права, как злобредность (nuisance) и нарушение владения (trespass). По англо-американскому праву особенностью института строгой и абсолютной ответственности (ответственности владельца источника повышенной опасности) является то, что он применяется, если вред причинён собственности. В этом случае критерием служит опасная деятельность. В законодательстве США предусмотрен перечень опасных видов деятельности, при осуществлении которых с нарушением правил применяется строгая ответственность. В то же время, в законодательстве ФРГ существует перечень категорий экологически опасных объектов, который включает 120 категорий таких источников [4].

Природоохранительная деятельность на национальном уровне в каждом государстве осуществлялась и регулировалась в какой-то степени с давних времён, а международное сотрудничество в области охраны окружающей среды зародилось чуть более ста лет назад. Одним из первых было соглашение об охране морских котиков в 1897 году. Первым крупным многосторонним природоохранительным мероприятием считается конференция по международной охране природы, состоявшаяся в ноябре 1913 года в Берне (Швейцария).

Субъектами международных экологических правоотношений являются государства, международные правительственные и неправительственные организации, а также, в предусмотренных международными правовыми нормами случаях, юридические и физические лица, оказывающие воздействие на состояние окружающей среды в международных пространствах. Объект международно-правового регулирования охраны окружающей среды и природопользования – вся природа планеты Земля и околоземное космическое пространство [5].

Необходимо отметить, что проблема международной ответственности государств является одной из сложнейших в международном праве и не имеет однозначного решения в практике межгосударственного общения. Она является основополагающей для обеспечения международного правопорядка. Основанием применения международной ответственности служит экологическое правонарушение, которое проявляется, в основном, либо в невыполнении субъектами международного права окружающей среды взятого на себя международного обязательства, либо в причинении экологического ущерба посредством загрязнения вод океана нефтью, трансграничного загрязнения окружающей среды соседним государством и т. д.

В соответствии с современным международным правом международные правонарушения подразделяются на преступления и деликты. Кодекс международных преступлений определяет международное преступление как международно-правовое деяние, возникающее в результате нарушения государством международного обязательства, столь основополагающего для обеспечения жизненно важных интересов международного сообщества, что его нарушение рассматривается как преступление перед международным сообществом в целом (к примеру: массовое загрязнение атмосферы или морей). В то же время, международно-правовое деяние, которое не является международным преступлением, признаётся международным деликтом, или ординарным правонарушением [5].

В международном праве предусмотрено два вида ответственности государства: материальная ответственность (репарация – денежное возмещение ущерба) или ресторация (восстановление нарушенного состояния природной среды) и нематериальная ответственность (политическая). Нематериальная ответственность применяется в разных формах: сатисфакция – принесение извинений; наказание государством виновных; применение экономических и иных санкций, вплоть до применения вооружённой силы.

В некоторых международных актах в области охраны окружающей среды, касающихся ее загрязнения, ответственность регулируется достаточно подробно. Так, Брюссельская конвенция о гражданской ответственности за ущерб от загрязнения нефтью (1969 г.) установила объективную ответственность судовладельца за ущерб от загрязнения нефтью, причиненный в территориальных водах прибрежного государства судами, используемыми в коммерческих целях и принадлежащими государству, подписавшему Конвенцию. Собственник судна отвечает за всякий ущерб от загрязнения моря, который явился результатом утечки или слива нефти.

Данная Конвенция предусматривает обязательное страхование ответственности за ущерб от загрязнения при перевозке судном более 2000 т нефти наливом. В качестве альтернативы страхованию Конвенция дает владельцу судна возможность предоставить иное финансовое обеспечение, например, гарантию банка или свидетельство, выданное международным компенсационным фондом, на сумму, соответствующую пределу ответственности, установленному Конвенцией. Каждому судну, выполнившему это требование, выдается свидетельство. При его отсутствии судну может быть запрещено заходить или покидать порт государства – участника Конвенции [6].

Собственник судна может быть освобожден от ответственности, если докажет, что ущерб:

- явился результатом военных действий, враждебных действий или стихийного явления;
- всецело вызван действием или бездействием третьих лиц с намерением причинить ущерб;
- всецело вызван небрежностью или иным неправомерным действием правительства или другого органа власти, отвечающего за содержание в порядке огней и других навигационных средств.

Женевская конвенция о гражданской ответственности за ущерб, причиненный при перевозке опасных грузов автомобильным, железнодорожным и внутренним водным транспортом (1989 г.), установила, что за ущерб, причиненный любым опасным грузом в ходе его перевозки, с момента инцидента ответственность несет перевозчик. Как и по Брюссельской конвенции, перевозчик освобождается от ответственности, если докажет, что ущерб явился результатом военных действий, враждебных действий или стихийного явления; вызван действием третьих лиц с намерением причинить ущерб.

Яркий пример возложения международной ответственности за вред, причиненный природной среде, представляет ответственность, применяемая вследствие военных действий. Несмотря на действие Конвенции о запрещении военного или любого иного враждебного использования средств воздействия на природную среду (1977 г.), в ходе войны в Персидском заливе осуществлялось преднамеренное крупномасштабное разрушение природной среды в военных целях со стороны Ирака. Совет Безопасности ООН в резолюции № 687 от 3 апреля 1991 года подтвердил ответственность Ирака перед иностранными государствами, физическими и юридическими лицами за ущерб (50 млрд. долл.), нанесенный окружающей среде, и за уничтожение природных ресурсов в результате вторжения в Кувейт. В соответствии с этой резолюцией был создан фонд, средства в который должны поступать от Ирака в сумме, составляющей около четверти его годовых доходов от добычи нефти [6].

В современном мире существует около 200 государств. Они имеют разный уровень экономического развития, разное состояние окружающей среды, используют разные подходы к решению экономических проблем. Одновременно их объединяет ответственность за сохранение и восстановление благоприятного состояния окружающей среды в интересах будущих поколений. С 29 ноября по 12 декабря 2015 года в Париже состоялась 21-я Конференция сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата и 11-е Сопровождение сторон Киотского протокола. Итогом этих важнейших международных событий явилось Парижское соглашение, которое придет на смену Киотскому протоколу после 2020 года. 20 сентября 2016 года Республика Беларусь стала тридцатой страной, подписавшей Парижское соглашение. Статья 105 «Международные договоры» Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды» гласит: «Если международным договором Республики Беларусь установлены иные нормы охраны окружающей среды, чем те, которые предусмотрены настоящим Законом, то применяются нормы международного договора», что устраняет возможные юридические противоречия [7]. Парижское соглашение содержит ряд гибких положений, позволяющих Республике Беларусь использовать экономические механизмы в будущем с целью снижения выбросов парниковых газов и пользоваться своими неоспоримыми преимуществами, такими как: существенная доля болот и особо охраняемых природных территорий, высокая лесистость территории, наличие значительных водных ресурсов.

Безусловно, важность ознакомления с зарубежным законодательством и практикой регулирования взаимодействия общества и природы актуальна с точки зрения заимствования положительного опыта белорусским экологическим правом, так как идет процесс гармонизации международного и национального законодательства, в том числе в сфере охраны окружающей среды и природопользования.

Список литературы

1. Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.). – Минск: Амалфея, 2008. – 48 с.
2. Балашенко, С. А. Экологическое право: учебник / С. А. Балашенко [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2013. – 501 с.
3. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г // Консультант Плюс : Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информации Республики Беларусь.– Минск, 2015.
4. Бринчук, М. М. Экологическое право (Право окружающей среды). : учеб. для вузов. / М. М. Бринчук. – М.: Эксмо, 2009. – 688 с.
5. Лукашук, И. И. Международное право окружающей среды. Особенная часть: учеб. Для студентов юрид. Фак. И вузов / И. И. Лукашук; Рос. Акад. Наук, ИН-т государства и права, академ. Правовой ун-т. – изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Волтерс Клувер, 2008. – С. 178–198.
6. Вылегжанина, Е. Е. Сохранение биосферы и международная ответственность. / Е. Е. Вылегжанина. – М. : Компания «ГОО Протеже», 1993. – С. 54.
7. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г., № 1982-XII: в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.12.2014 г., № 225-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2015 г. – 2/2223

V. N. Luchina

FOR THE ISSUES OF HARMONIZATION OF ENVIRONMENTAL LEGISLATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND INTERNATIONAL

The article discusses some aspects of the harmonization of national environmental legislation of the Republic of Belarus and the International Environmental Law. The role of law and environmental law as the primary form of securing the environmental policy of our state. Also, consider the state's role in determining the strategy of environmental activities. The experience of other countries to democratize their environmental legislations. It affected the hardest in the International Law of the problem of the international responsibility of States for environmental violations and crimes. It denotes the importance of familiarization with a foreign law and practice regulating the interaction between society and nature.

*Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь*

ФОРМИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРТОЙ НАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ОБЩЕСТВУ УСТОЙЧИВОГО ТИПА

В статье рассматривается процесс формирования четвертой естественно-научной картины мира, основанной на NBICS-технологиях. Особое внимание уделено нанотехнологиям, которые послужили началом конвергенции. Кроме того, рассмотрена роль нанотехнологий в реализации стратегии устойчивого развития и формировании общества устойчивого типа.

➤ **Ключевые слова:** *постнеклассическая научная рациональность, естественно-научная картина мира, NBIC-конвергенция, нанотехнологии, подход к осмыслению нанореальности, теоретическая модель нанореальности, концепция устойчивого развития.*

Динамическая смена модели существования социума на рубеже XX–XXI вв. с необходимостью приводит к смене типа мышления и к становлению новой научной парадигмы. Именно в этот период произошел переход от неклассического к постнеклассическому периоду развития науки, характеризующий формированием нового типа методологии, который назван В. С. Степиным постнеклассическим.

В труде «Теоретическое знание» [1] В. С. Степин выделил три исторические стадии научной рациональности, сменявшие друг друга в истории техногенной цивилизации: классическая, неклассическая, постнеклассическая. Причём появление каждого нового типа рациональности не отбрасывало предшествующего, а только ограничивало сферу его действия, определяя его применимость лишь к определённым типам проблем и задач.

Существенный признак постнеклассической науки – изменение характера научной деятельности. На передний план все больше выдвигаются междисциплинарные и проблемно-ориентированные исследования. В междисциплинарных исследованиях наука сталкивается со сложными системными объектами. Основные черты нового (постнеклассического) образа науки связаны с синергетикой, изучающей общие принципы процессов самоорганизации, протекающих в системах самой различной природы (физических, биологических, технических, социальных и др.). Идеи эволюции и историзма становятся основой синтеза картин реальности. В соответствии с постнеклассической синергетической картиной мира, с самого начала и к любому данному моменту времени будущее остается неопределённым. Развитие может пойти в одном из нескольких направлений, что чаще всего определяется каким-нибудь незначительным фактором. Достаточно лишь небольшого энергетического воздействия, чтобы система перестроилась и возник новый уровень организации. Постнеклассической стадии соответствует постоянная включённость субъективной деятельности в «тело знания». Она учитывает соотносённость характера получаемых знаний об объекте не только с особенностью средств и операций деятельности познающего субъекта, но и с ее ценностно-целевыми структурами.

В итоге формирование нового постнеклассического типа научной рациональности с необходимостью приводит к формированию основных идей современной научной картины мира.

В истории и философии науки принято выделять три сложившихся исторических типа естественно-научной картины мира: механистическая (сформированная трудами Г. Галилея, И. Кеплера, Х. Гюйгенса, И. Ньютона), электромагнитная (основанная на результатах работ М. Фарадея, Дж. Максвелла, Х. А. Лоренца) и квантово-полевая (связанная с именами М. Планка, Э. Шредингера, В. Гейзенберга, Н. Бора) [2].

В настоящее время происходит формирование четвертой картины мира – эволюционной, которая отражает появление междисциплинарных подходов и технические возможности описания состояний и движений сложных систем, позволившие рассматривать единообразно явления живой и неживой природы.

Развитие современной цивилизации сопровождается стремительным развитием новейших наукоемких технологий. Научно-технические инновации становятся главным маркером перехода к новому типу социума.

Образ цивилизации XXI в. можно целиком связать с развитием конвергентных наук и технологий. При этом под научной и технологической конвергенцией понимается сложный комплекс взаи-

модействия четырех научно-технологических областей (N – нано; B – био; I – инфо; C – когно). Главная особенность такой конвергенции заключается в том, что строится она по принципу синергетической комбинации, а конечный продукт появляется в рамках именно междисциплинарных научно-исследовательских разработок на стыке различных областей науки и технологий.

Особенностями NBIC-конвергенции являются:

- интенсивное взаимодействие между научными и технологическими областями;
- широта рассмотрения и влияния – от атомарного уровня материи до разумных систем;
- технологическая перспектива роста возможностей развития человека.

Нанотехнология (по Н. Танигучи) – процесс разделения, сборки и изменения свойств материалов путем воздействия на них одним атомом или одной молекулой вещества [3].

Биотехнология – это технология использования живых организмов, их систем или продуктов их жизнедеятельности в технологических целях, создании живых организмов с необходимыми, заранее заданными свойствами методом геной инженерии. Биотехнология основана на генетике, молекулярной биологии, биохимии, эмбриологии и клеточной биологии, а в современных условиях – и на прикладных технологиях, таких как информационная технология и робототехника.

Информационные технологии согласно определению, принятому ЮНЕСКО, – это комплекс взаимосвязанных научных, технологических, инженерных дисциплин, изучающих методы эффективной организации труда людей, занятых обработкой и хранением информации, вычислительную технику и методы организации и взаимодействия с людьми и производственным оборудованием, их практические приложения, а также связанные со всем этим социальные, экономические и культурные проблемы.

Когнитивные технологии – способы и алгоритмы достижения целей субъектов, опирающиеся на данные о процессах познания, обучения, коммуникации, обработки информации человеком и животными, на представления нейронауки, теорию самоорганизации, компьютерные информационные технологии, математическое моделирование элементов сознания, ряд других научных направлений, еще недавно относившихся к сфере фундаментальной науки.

Нанотехнология молекулярная (по Э. Дрекслеру) – совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие в себя компоненты размерами менее 100 нм хотя бы в одном измерении. В результате объекты получают принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба [4]. В более широком смысле – методы диагностики, характерологии и исследований таких объектов.

Конвергентные технологии, с одной стороны, положили начало этапу формирования новой научной картины мира, а с другой – ознаменовали переход к новому технологическому укладу.

Технологический уклад – это совокупность сопряженных производств, имеющих единый технический уровень и развивающихся синхронно. Смена доминирующих в экономике технологических укладов предопределяет неравномерный ход научно-технического прогресса. Критерием отнесения производства к определенному технологическому укладу является использование в данном производстве технологий, присущих этому укладу, либо технологий, обеспечивающих выпуск продукции, которая по своим техническим либо физико-химическим характеристикам может соответствовать продукции данного уклада.

Считается, что к настоящему моменту в мире пройдено пять технологических укладов [5].

Первый технологический уклад (1770–1830 гг.) совпадает с первой промышленной революцией. Он был основан на новых технологиях в текстильной промышленности, использовании энергии воды, что привело к механизации труда и началу поточного производства. Страны-лидеры: Великобритания, Франция, Бельгия.

Второй технологический уклад (1830–1880 гг.) иначе называют «Эпохой пара». Данный уклад характеризовался ускоренным развитием железнодорожного и водного транспорта на основе паровых машин, широким внедрением паровых двигателей в промышленное производство. Страны-лидеры: Великобритания, Франция, Бельгия, Германия, США.

Третий технологический уклад (1880–1930 гг.) получил название «Эпоха стали» (Вторая промышленная революция). В основе данного уклада – использование в промышленном производстве электрической энергии, развитие тяжелого машиностроения и электротехнической промышленности на основе использования стального проката. Были внедрены радиосвязь, телеграф, стали использоваться автомобиль, появились крупные фирмы, картели, синдикаты, тресты, на рынке господствовали монополии, началась концентрация банковского и финансового капитала. Страны-лидеры: Германия, США, Великобритания, Франция, Бельгия, Швейцария, Нидерланды.

Четвертый технологический уклад (1930–1970 гг.) так называемая «Эпоха нефти». Этот уклад характеризуется дальнейшим развитием энергетики с использованием нефти и нефтепродуктов, газа,

средств связи, новых синтетических материалов. Это период массового производства автомобилей, тракторов, самолётов, различных видов вооружения, товаров народного потребления. Широкое распространение получают компьютеры и программные продукты. Используется атомная энергия в военных и мирных целях. В производстве преобладают конвейерные технологии. Образовываются транснациональные и межнациональные компании, которые осуществляют прямые инвестиции в рынки различных стран. Страны-лидеры: США, Западная Европа, СССР.

Пятый технологический уклад (1970–2010 гг.), при котором на первый план выходят технологии, используемые в микроэлектронной промышленности, вычислительной, оптико-волоконной технике, программном обеспечении, телекоммуникациях, роботостроении, при производстве и переработке газа; производстве, основанном на использовании биотехнологий, космической технике, химии новых материалов с заданными свойствами. Происходит переход от разрозненных фирм к единой сети крупных и мелких компаний, соединённых электронной сетью на основе Интернета, осуществляющих тесное взаимодействие в области технологий, контроля качества продукции, планирования инноваций.

В настоящее время происходит формирование нового технологического уклада. Грядущий шестой технологический уклад основывается на NBIC-конвергенции (нано-, био-, инфо- и когнитивная конвергенция) и призван по своей форме и содержанию уточнить и включить гуманитарный блок в естественные и технические науки. В данном контексте конвергентные технологии выступают в качестве среды и движущей силы развития общества.

Следует отметить, что в последние годы к конвергентным технологиям принято «добавлять» социальную составляющую в виде социальных технологий (с соответствующим изменением аббревиатуры SNBIC или NBICS).

Формирующееся информационное общество, переживающее социально-экологический кризис, становится главным субъектом и объектом всех инноваций, его статус должен быть тесно связан с развитием науки, знаний, образованием, технологиями и их продуктами.

В связи с этим философское осмысление статуса конвергентных технологий в системе научного знания сопряжено с решением ряда задач:

- анализ развития общества, связанного с возникновением корпуса конвергентных технологий, в который входят нано-, био-, инфо- и когнитивные технологии, выдвиганием конвергентных технологий на передний план научных исследований и приобретение ими статуса «прорывных», «инновационных» технологий;

- анализ существующих моделей научно-инновационного процесса, необходимость которого определяется исторической изменчивостью парадигмы научности: от классики к постнеклассике;

- создание новой модели научно-инновационного процесса, новизну и оригинальность которой определяют изменения в структуре фундаментальных и прикладных исследований, связанные с развитием конвергентных технологий [6];

- включение конвергентных технологий в социально-исторический дискурс в качестве научно-инновационных оснований перехода общества к устойчивому типу, или к эколого-информационному обществу, под которым в контексте данной статьи понимается качественно новый этап цивилизационного развития, при котором ноосферные механизмы, сопряженные с глобальной информатизацией, смогут не только повлиять на устойчивость цивилизации, но и выступить альтернативой дальнейшего развития техногенной цивилизации.

При решении выделенных задач по определению философского (а вместе с тем и мировоззренческого) статуса конвергентных технологий особое внимание следует уделить нанотехнологиям в связи с тем, что именно они послужили началом конвергенции в последние несколько десятилетий и связали воедино био-, инфо-, когнитивные технологии. Развитие конвергентных технологий можно весьма условно разделить на три стадии. Первой стадией конвергенции стало производство посредством нанотехнологий и с привлечением знаний из таких наук как биология, математика, химия новых продуктов, в результате чего возникли междисциплинарные и межотраслевые связи. На второй стадии произошла не только интеграция NBIC-технологий, но и их взаимопроникновение, начал проявляться эффект синергизма. Третья стадия конвергенции, как уже упоминалось ранее, подключение к NBIC-технологиям социальной составляющей и формирования и реализация NBICS-технологий, где человек – сосредоточение конвергентных технологий.

Нанообъектами (наночастицами) называются объекты (частицы) с характерным размером в 1–100 нанометров хотя бы по одному измерению. Они обладают физическими и химическими свойствами, отличными от макроскопических тел. Доля поверхностных атомов становится больше по мере уменьшения размеров частицы. Для наночастиц практически все атомы являются «поверхностными», поэтому их химическая активность чрезвычайно велика. Еще одной особенностью нано-

структур является то, что уменьшение с размерами системы времени протекания в ней разнообразных процессов, т. е. увеличение быстродействия. Описанные вкратце свойства, делающие наночастицы уникальными обуславливают повышенный интерес к ним со стороны большинства современных наук.

Существует множество подходов к осмыслению нанореальности и нанотехнологий. Из всего спектра идей целесообразно выделить три направления:

- 1) футурологический (или прогностический);
- 2) эстетический (или естественнонаучный);
- 3) этический (или этико-аксиологический).

Футурологический подход стремится прогнозировать нанотехнологическое будущее (Э. Деклер (концепт ассемблера – робота, воспроизводящего себя на наноуровне), Р. Фейнман («пророк» нанотехнологий), Р. А. Флейтас мл. (создание микроскопических химических фабрик), Р. Курцвейл (теория сингулярности и слияния человеческого и машинного интеллекта) и др.)

Картины возможного нанобудущего неоднородны, в них можно выделить два крупных направления: оптимистическое (т. н. нанофилия, авторы с восторгом смотрят на развитие нанотехнологий) и пессимистическое (т. н. нанофобия, авторы описывают будущее, где не будет места человеку). Футурологические идеи предлагают измененную нано-детерминированную реальность, понимание которой зависит от его взаимоотношений с трансформировавшейся реальностью, т. е. в одном случае порабощение человека, а в другом усиление его власти.

Эстетический подход предполагает употребление термина «эстетика» в кантианском смысле, т. е. в этимологическом значении – чувственно воспринимаемая и доказуемая реальность, сосредоточенная в том, что есть в наличной действительности (А. Нордманн, А. Грюнвальд, Л. Фостер, В. Г. Горохов, Г. Г. Малинецкий). Для представителей этого направления существование нанотехнологий – это непреложный факт, т. е. наночастицы – это не проект, а действительность. Нанореальность предстает в качестве объективно существующей действительности, фактически и эмпирически доказуемой. Нанотехнологии, с одной стороны, явились мощным инструментом для конструирования будущего, но с другой стороны – использование нанотехнологий не должно замыкаться исключительно на будущем, а обратить внимание, прежде всего, на настоящее и на основании их возможностей корректировать сложившуюся ситуацию.

Вместе с тем в рамках эстетического направления сложилось скептическое по отношению к оценке нанореальности направление. Ряд исследователей (К. Милберн, Дж. Корн, Дж.С. Питт и др.) ставят под сомнение достоверность изображения наночастиц, полученные с применением туннельного микроскопа. Основным аргументом в пользу этого утверждения является тот аспект, что туннельный микроскоп не столько позволяет увидеть наночастицы, сколько создает видение наночастицы.

Этический подход сконцентрирован на вопросе о том, что человечество хочет увидеть в будущем, что желает получить и как достичь желаемого, т. е. встает вопрос гуманного и полезного применения нанотехнологий, обуславливающий этическую основу нанонауки. Этический подход к пониманию нанореальности и нанотехнологий неоднозначный, здесь встают вопросы об исходной единице этического осмысления нанореальности (человек–общество–вселенная) и методе этической оценки (утилитаризм, экогуманизм и т. п.), а также ряд других вопросов о выборе исходных параметров решения этических задач.

При этом следует отметить противостояние двух направлений в рамках этической оценки нанотехнологий – трансгуманизма и гуманизма. Трансгуманисты утверждают, что человек не является конечным эволюционным видом, а следующим этапом эволюции явятся фундаментальные изменения человека и появление т. н. «постчеловека», который будет способен победить болезни, старость, смерть, обладающего новыми умственными и физическими возможностями, приобретенными за счет нанотехнологий. Гуманисты же обеспокоены тем, что человек может быть поработан технологией, утратит свою человеческую сущность и будет подвергнут тотальному уничтожению.

На основании данных подходов можно создать условную теоретическую модель нанореальности, в состав которой входят соответственно три компонента. Ядром данной модели является эстетический компонент, как объективная составляющая (нанообъекты как реально существующие объекты естественнонаучного дискурса). Этический компонент выстраивает вокруг ядра сферу возможных вариантов развития нанотехнологий. Периферийной сферой теоретической модели является футурологический компонент, объединяющий эстетическую и этическую сферы в единое целое для прогнозирования возможных исходов развития нанотехнологий и нанореальности [7].

Прежде чем перейти непосредственно к возможной роли наноструктур и нанотехнологий в формировании экономической, технологической и экологической составляющих эколого-информационного общества, важно рассмотреть основные типы наноструктур, перспективные для науки и техники. К наиболее известным наноструктурам относятся кластеры, фуллерены и нанотрубки.

Кластерами называют нанобъекты, состоящие из сравнительно небольшого числа атомов или молекул. Кластеры имеют наноразмеры по трем направлениям. Малые размеры кластеров позволяют управлять их физическими свойствами при малых воздействиях. В электронике используются кластеры, называемые квантовыми точками, на основе которых разработаны полупроводниковые приборы нового поколения, лазеры, диоды и т. п. Другим типом наноструктур являются фуллерены и углеродные нанотрубки, представляющие собой каркасные структуры из атомов углерода. Фуллерены представляют собой молекулярную форму углерода и могут образовывать молекулярный кристалл – фуллерит. Фуллерены способны иметь широкий класс химических соединений, обладающих различной структурой и физико-химическими свойствами. Углеродные нанотрубки имеют наноразмеры только по двум направлениям и рассматриваются как нанобъекты, сочетающие свойства молекул и макроскопического тела. Углеродные нанотрубки обладают необычным электрическим свойством: сопротивление некоторых из них существенно меньше, чем даже у меди, поэтому они могут служить, например, нанопроводниками в интегральных схемах. Другим уникальным свойством нанотрубок является высокая прочность на изгиб и вместе с тем большая гибкость, поэтому их потенциально можно рассматривать как сверхпрочные строительные материалы или наноконтейнеры для биологических или радиоактивных материалов.

В настоящее время в обществе значение нанотехнологии определяется не по достигнутым результатам и конкретным применением, а по тому многообразию возможностей, которое может привести к существенной переоценке приоритетов в науке, технике и социальной жизни. Здесь важно выделить два пути развития нанотехнологий. Путь развития «сверху–вниз» относится в основном к физике и техническим наукам и является проявлением тенденции постепенной миниатюризации макрообъектов, а путь развития «снизу–вверх» заключается в создании новых материалов и веществ из микроэлементов и наночастиц. Макротела могут содержать в себе нанобъекты, то есть артефакты, полученные либо при помощи методов нанотехнологий, либо путём добавления в них наночастиц, либо путём смешивания с наночастицами.

В XXI в. на нанотехнологии человечество возлагает огромные надежды в решении ряда глобальных проблем, стоящих перед человеком. Именно они могут помочь «вписать» развитие земного, живого, разумного общества, цивилизации в траекторию универсальной эволюции через переход к сбалансированному развитию социоприродной системы в пределах Земли и околоземном пространстве, то есть в концепцию устойчивого развития. Предпосылки формирования данной концепции можно разделить на три класса: социальные (бедность, гендерное неравенство, экстремизм, неудовлетворительная социальная структура), экономические (энергозависимость, нерациональное распределение ресурсов, разрыв в доходах населения как внутри одной страны, так и между странами, безработица) и экологические (исчерпание природных ресурсов, загрязнение окружающей среды, нарушение биоразнообразия). Среди основных принципов концепции устойчивого развития важно выделить права всех людей на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой, охрану окружающей среды как неотъемлемого компонента процесса развития, возможность удовлетворения потребностей в развитии и сохранении окружающей среды как для нынешнего, так и для будущих поколений, уменьшение разрыва в уровне жизни между странами, искоренение бедности и нищеты, исключение или уменьшение неспособствующей этому развитию модели производства и потребления [8].

В связи с этим, нанотехнологии позволят создать производства, которые будут характеризоваться меньшей по сравнению с существующими ресурсо- и энергоёмкостью, предоставят возможности для позитивных сдвигов в деле охраны окружающей среды и, если не разрешения, то хотя бы смягчения остроты глобальных экологических и экономических противоречий. Вместе с тем немаловажную роль наноструктуры и нанотехнологии могут сыграть в очистке воды от промышленного загрязнения. Отдельного внимания заслуживает применение нанотехнологий в медицине, в частности в онкологии, для фиксации и лечения раковых опухолей; разработан метод, в котором включение магнитного поля вызывает достаточно сильный разогрев активных нанокластеров и связанные с ними раковые клетки погибают без вреда для здоровых клеток. Не менее интересна идея перехода на экологически чистое водородное топливо, которое заключено в прочные и жесткие контейнеры из наноструктур.

Между тем, помимо возможностей, применение нанотехнологий сопряжено с определенными рисками. В 1989 году Э. Дрекслер организовал и возглавил «Предупреждающий» институт (Foresight Nanotech Institute), где проводятся ежегодные конференции, фиксирующие достижения нанотехнологий и отмечают возможные опасные для общества моменты развития нанотехнологий.

Дальнейшее развитие как непосредственно нанотехнологий, так и комплекса NBIC-технологий зависит от целого ряда факторов: уровня развития самой науки, стратегии планирования, организа-

ционного и материального обеспечения научной деятельности, подготовки кадров, ориентации на производство продукции, товаров и услуг, готовности общества к адекватному восприятию феномена NBIC-конвергенции.

Если общественная система в состоянии обеспечить сбалансированность указанных факторов, то в ней возможно гармоничное развитие научно-технологического потенциала в виде конвергентных технологий и реального их внедрения в сектор экономики. В случае же нарушения баланса на перспективность развития NBIC-технологий сложно рассчитывать. Развиваясь только на основаниях потребностей самой науки, NBIC-технологии могут оторваться от реалий общественного развития, превратиться в самоцель и, что самое опасное, лишиться этических ограничений.

Формирующаяся в условиях перехода к обществу устойчивого типа, четвертая естественно-научная картина мира оказывает существенное влияние на формирование теоретических оснований концепции эколого-информационного общества, как общества устойчивого типа, и способствует уточнению философской картины мира в целом.

Список литературы

1. Степин, В. С. Теоретическое знание / В.С. Степин. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 744 с.
2. Садохин, А. П. Концепции современного естествознания: учебник для студентов вузов, обучающихся по гуманитарным специальностям и специальностям экономики и управления / А. П. Садохин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. – 447 с.
3. Taniguchi N. On the Basic Concept of Nano- Technology/N. Taniguchi//Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. – Tokyo. – Part II, 1974.
4. Drexler, К. Е. Engines of Creation: the Coming Era of Nanotechnology/ К. Е. Drexler. – NY: Anchor Press, 1986. – XII, 298 p
5. Глазьев, С. Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития/ С. Ю. Глазьев. – М.: ВладДар, 1993. – 310 с.
6. Алиева, Н. З., Захаров, А. П. Трансформации научно-инновационного развития общества в контексте конвергентных технологий // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/transformatsii-nauchno-innovatsionnogo-razvitiya-obschestva-v-kontekste-konvergentnyh-tehnologiy> (дата обращения: 22.03.2016).
7. Отраднова, О. А. Нанотехнологии и их роль в понимании реальности в современном обществе / О. А. Отраднова// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 12. – С. 149–154.
8. Бейлин, М. В. Нанотехнология как прорыв в постнеклассической науки: Монография/ М. В. Бейлин. – Харьков: Издательство «Обериг», 2014. – 480 с.

I. V. Lefanova

FORMATION OF THE FOURTH SCIENTIFIC WORLD IN THE TRANSITION TO A SOCIETY OF STABLE TYPE

Formation of the fourth scientific picture of the world in the transition to a sustainable society requires a type of philosophical understanding of nano-reality.

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

УДК 630*181:561.24:564

А. Н. Хох¹, Д. Е. Кузменков²

¹Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

²Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз
г. Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА

В статье приведены результаты влияния условий произрастания на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Использование дендрохронологического, анатомического и статистического методов позволило провести комплексную оценку пространственных особенностей роста сосны в контрастных типах леса. Установлено, что каждый тип леса отличается от других амплитудой и характером изменчивости ширины годичных слоев.

➤ **Ключевые слова:** древесно-кольцевые хронологии, корреляция, динамика, закономерности, чувствительность древесно-кольцевых хронологий, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), типы леса.

Введение

Сегодня сосновые леса – преобладающая лесная формация в Беларуси, характеризующаяся наибольшим фитоценологическим разнообразием. Низкая требовательность к богатству и влажности почвы обеспечивает сосне возможность существования в широком диапазоне почвенно-грунтовых условий. Она формирует сомкнутые насаждения как на песчаных дюнах (сосняки лишайниковые), так и на болотах верхового типа (сосняки сфагновые), которые непригодны для других пород. Это позволяет проследить изменение отклика деревьев на одни и те же климатические факторы в крайних условиях произрастания.

О состоянии сосновых древостоев с высокой точностью можно судить по их радиальному приросту (ширине годичных слоев (ШГС)), который является наиболее универсальным и комплексным показателем состояния насаждения в течение всей жизни, отражающим локальные и глобальные изменения окружающей среды. Различия в формировании радиального прироста обусловлены воздействием внутренних (биологических) и внешних (экологических) факторов [1].

Биологические факторы связаны со свойствами самого дерева, это – индивидуальные особенности (фенотип) и наследственные качества (генотип) особи, возраст, местоположение древесины и стволе.

Экологические факторы весьма разнообразны как по своей природе, так и по воздействию на растительные организмы. Их можно условно подразделить на две основные группы. Первая в той или иной степени связана с изменениями солнечной активности, которая оказывает большое влияние на изменения атмосферной циркуляции и является причиной климатических возмущений. Поэтому изменения температуры и количества осадков находятся в причинной связи с солнечными циклами. Вторая группа обусловлена особенностями места произрастания дерева: рельефом, почвой, ее температурой, уровнем грунтовых вод и их колебаниями и т. д., а также взаимоотношениями растительных организмов в древесном сообществе.

Учесть действие отдельных факторов и установить ответные реакции растительного организма на каждый из них достаточно сложно, так как обычно они действуют в едином комплексе, а сильное действие разных по природе факторов вызывает одну и ту же модификацию годичного слоя – образование узкого слоя. В то же время один и тот же фактор в одних условиях может угнетать дерево, а в других – способствовать его росту.

Цель настоящей работы – охарактеризовать особенности формирования радиального прироста, в том числе его анатомической структуры, у деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от условий произрастания.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись лесные массивы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Государственного природоохранного учреждения «Березинский биосферный заповедник». Минимальное антропогенное воздействие, практически полное отсутствие осушительной мелиорации и разнообразие типов леса позволяют использовать эту территорию для изучения особенностей естественной динамики лесных экосистем.

Всего было заложено 6 пробных площадок (ПП) в разных лесорастительных условиях, на них составляли таксационные описания (табл. 1). Исследования проводились с помощью общепринятых методик в области лесоведения и лесной таксации [2, 3].

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев на пробных площадях

Номер ПП	Лесничество	Квартал	Тип леса	Средний диаметр на высоте 1,3 м, см	Средняя высота, м	ТУМ	Состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота
1	Крайцевское	496	С.мш.	26,0	23,9	A2	10С	105	I	0,7
2	Домжерицкое	334	С.вер.	28,0	20	A2	10С+Б	85	II	0,87
3	Березинское	109	С.кис.	40,5	34,0	B2	10С+Е,Б	155	I	0,75
4	Домжерицкое	269	С.дм.	28	22	A4	10С+Е,Б	150	II	0,73
5	Домжерицкое	268	С.баг.	20,0	17,5	A5	10С+Б	95	V	0,7
6	Домжерицкое	284	С.сф.	13,5	12,7	A5	10С	150	Vб	0,5

Для дендрохронологического анализа на каждой пробной площадке у 20–25 деревьев сосны возрастным буром Пресслера отбирались образцы (буровые керны) – по 2 керны с противоположных сторон ствола в направлении запад-восток на высоте 1,3 м от поверхности земли. Это позволяет более достоверно измерять ширину радиального прироста, исключая возможные аномалии на участках слоя и сравнивать и осуществлять взаимную проверку, особенно в тех случаях, когда размеры сильно разнятся. Все выбранные деревья не имели каких-либо внешних повреждений.

Дальнейшая обработка образцов проводилась в лаборатории материалов, веществ и изделий ГУ «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь» (г. Минск) в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа [4]. Измерения ширины годовичных слоев, зон ранней и поздней древесины выполнены на установке Lintab v 6.0 (модель ВМ-В) с точностью до 0,01 мм. Для контроля правильности выполненных измерений каждая индивидуальная серия перекрестно датировалась в программе TSAP-Win (version 4.64 for Microsoft Windows, Rinntech, Frank Rinn, Германия) [5] со средней групповой хронологией. Если диагностировался низкий уровень синхронности, образец поступал на повторное измерение.

Анатомическое исследование годовичных слоев проведено на 4 образцах с каждой пробной площадки. Для этого с помощью санного микротомы Leica SM2010R готовили срезы в трех взаимно перпендикулярных направлениях – поперечном, радиальном, тангенциальном (рис. 1–3).

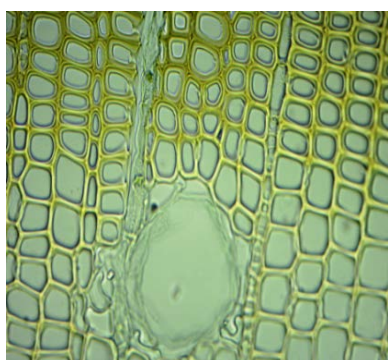


Рисунок 1 – Поперечный срез древесины сосны обыкновенной

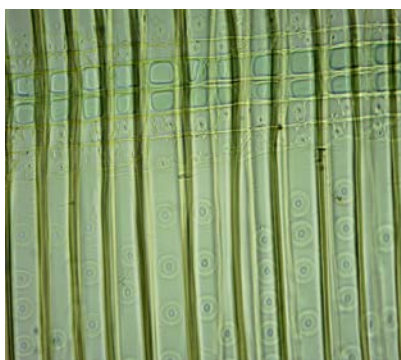


Рисунок 2 – Радиальный срез древесины сосны обыкновенной

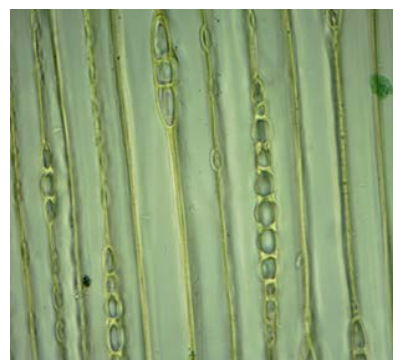


Рисунок 3 – Тангенциальный срез древесины сосны обыкновенной

Микросрезы использовали для приготовления временных (помещенных в глицерин) и постоянных (в канадский бальзам) микропрепаратов [6]. Поперечный и радиальный срезы включали все годовичные слои. Тангенциальные срезы делали в каждом слое прироста с 1-го по 10-й включительно

и далее – в каждом 10-м слое. Микроскопическое изучение анатомических структур годичных слоев выполнено с применением светового микроскопа «Микмед-6» (при увеличении $\times 40$) Анатомические признаки измеряли по стандартной методике А. А. Яценко-Хмелевского (1954) [7]. В связи с тем, что модельные деревья имеют разное количество годичных слоев, а каждый годичный слой – разное количество клеток, то для более достоверного сравнения у каждого дерева размер полостей трахеид и толщину стенок трахеид измеряли в последних восьмидесяти годичных слоях. В годичном слое делали по 20 измерений каждого параметра. Средние показатели измерений и их изменчивость получали усреднением результатов по годичным слоям каждого модельного дерева.

Результаты и их обсуждение

Ширина годичных слоев у деревьев сосны обыкновенной, как показали измерения, варьирует во всех типах леса в очень больших пределах (0,11–10,2 мм) (табл. 2). Наиболее широкие годичные слои деревьев имеют в сосняке мшистом, а самые узкие – на верховых болотах (сосняк сфагновый). Величина стандартного отклонения ширины годичных слоев наиболее велика у деревьев в сосняках вересковых, а наименьшая – в сосняках сфагновых.

Таблица 2

Показатели изменчивости ширины годичных слоев деревьев в разных экотопах

Тип леса	Показатели ширины годичных слоев, мм			
	M_x	min	max	S_x
Сосняк мшистый	1,65	0,20	10,20	1,13
Сосняк вересковый	1,57	0,12	9,10	0,93
Сосняк кисличный	1,73	0,15	6,70	0,87
Сосняк долгомошный	1,52	0,14	4,60	0,81
Сосняк багульниковый	1,37	0,16	7,80	0,98
Сосняк сфагновый	0,84	0,05	5,20	0,58

Примечание: M_x – среднее арифметическое значение ширины годичных слоев деревьев в выборке; min, max – минимальное и максимальное значения ширины годичных слоев; S_x – среднее квадратическое (стандартное) отклонение.

Очень важной характеристикой годичного слоя является прирост поздней древесины, которая состоит из мелких толстостенных клеток и определяет прочность древесины. Абсолютная величина поздней зоны древесины сама по себе мало характеризует качество древесины. В связи с этим высчитывается процент поздней древесины в слое (табл. 3). Доля поздней древесины сосны изменяется в пределах от 26 до 34 %. Наименьшие значения доли поздней зоны годичного слоя отмечаются в сосняке мшистом, учитывая, что радиальный прирост здесь наибольший, что позволяет предположить о формировании наиболее качественной древесины в данном типе леса; наибольшие – в сосняке сфагновом.

Таблица 3

Изменчивость поздней древесины деревьев сосны в разных экотопах

Тип леса	Доля поздней древесины, в %	S_x
Сосняк мшистый	26	0,5
Сосняк вересковый	27	1,2
Сосняк кисличный	27	2,6
Сосняк долгомошный	31	0,9
Сосняк багульниковый	32	2,8
Сосняк сфагновый	34	3,1

Примечание: S_x – среднее квадратическое (стандартное) отклонение.

В результате проведенного дендрохронологического анализа на основе стандартизированных индивидуальных серий путем усреднения [8] построено 6 обобщенных древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) по общей ширине годичного слоя, ширине зоны поздней и ранней древесины, протяженностью – от 85 (сосняк вересковый) до 155 лет (сосняк кисличный).

Традиционные дендрохронологические показатели для обобщенных ДКХ по общей ширине годичного слоя свидетельствуют о хорошем качестве полученной информации и возможности ее использования для дальнейшего анализа. Показатель EPS (выраженный сигнал популяции, который показывает, в какой степени реальная хронология отражает гипотетическую, представленную бесконечным количеством деревьев) равен 0,89–0,95; RBAR (среднее значение коэффициента корреляции

между индивидуальными сериями) – 0,65–0,83, SD (среднеквадратичное отклонение, показывающее амплитуду погодичной изменчивости прироста) – 0,297–0,365. Наибольшей чувствительностью к внешним факторам отличаются сосняки сфагновые (0,375) и багульниковые (0,329), т. е. их можно использовать для климатических реконструкций с большим успехом, чем остальные. Кроме того, сосняки сфагновые отличаются от других наличием выпавших годичных слоев в особо неблагоприятные годы, что затрудняет их верификацию, но позволяет четко фиксировать неблагоприятные годы. Все древесно-кольцевые хронологии имеют небольшую автокорреляцию 1-го порядка. Что свидетельствует о том, что радиальный прирост сосны в значительной степени связан с изменением климатических факторов (табл. 4).

Таблица 4

Основные статистические характеристики древесно-кольцевых хронологий

Характеристики	ДКХ1	ДКХ2	ДКХ3	ДКХ4	ДКХ5	ДКХ6
Количество деревьев	23	25	24	24	23	25
Expressed population signal (EPS)	0,96	0,89	0,98	0,99	0,98	0,87
Среднеквадратическое отклонение (SL)	0,325	0,351	0,297	0,324	0,313	0,365
Межсерийный коэффициент корреляции (RBAR)	0,707	0,680	0,83	0,702	0,652	0,716
Автокорреляция 1-го порядка	0,051	0,045	0,021	0,061	0,071	0,078
Коэффициент чувствительности	0,020	0,027	0,047	0,022	0,329	0,375
Выпадающие слои, %	—	—	—	—	—	1,242

Для определения параллельности изменения прироста сосны обыкновенной в разных условиях произрастания рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 5).

Таблица 5

Коэффициент корреляции (r) между сериями годичных слоев сосны в разных типах сосновых лесов

Тип соснового леса	Мшистый	Вересковый	Кисличный	Долгомошный	Багульниковый	Сфагновый
Мшистый	1	—	—	—	—	—
Вересковый	0,69	1	—	—	—	—
Кисличный	0,60	0,42	1	—	—	—
Долгомошный	0,25	0,28	0,12	1	—	—
Багульниковый	0,13	0,16	0,19	0,44	1	—
Сфагновый	-0,031	0,14	0,06	0,11	0,27	1

Значимые коэффициенты корреляции (выделены в табл. 5 жирным шрифтом) ($>0,4$) наблюдаются в сосняке мшистом и сосняке кисличном $r = 0,60$, в сосняке вересковом и сосняке кисличном $r = 0,42$, в сосняке долгомошном и сосняке багульниковым $r = 0,44$. Самый высокий – между сосняком мшистым и вересковым – составил $r = 0,69$, что дает основание утверждать, что в многолетнем ходе радиальный прирост сосны в данных типах леса лимитировался в основном сходными факторами среды, на фоне которых и происходило формирование прироста [9].

Для выявления сопряженности в изменчивости индексов ширины годичного слоя, ширины слоя ранней древесины и ширины слоя использовался корреляционный анализ (табл. 6–7).

Таблица 6

Изменчивость разных видов индексов у сосняка мшистого

Индекс	Ширина годичного слоя	Ширина зоны поздней древесины	Ширина зоны ранней древесины
Ширина годичного слоя	1	—	—
Ширина зоны поздней древесины	0,78	1	—
Ширина зоны ранней древесины	0,91	0,25	1

Как видно из табл. 6, наблюдается сильная связь в изменчивости индекса ширины ранней древесины и индекса ширины годичного слоя ($r = 0,91$). Значительная связь наблюдается между индексом ширины слоя поздней древесины и шириной годичного слоя ($r = 0,78$). Но особенно важно отметить, что между кратковременной изменчивостью поздней и изменчивостью ранней древесины связи

нет ($r = 0,25$). Этого связано с тем, что ранняя и поздняя древесина формируются в разное время и на камбий при формировании этих слоев действуют разные погодные условия. Аналогичные результаты получены для сосняка верескового, кисличного и долгомошного и багульникового (закономерности взаимной сопряженности всех рассматриваемых показателей у них сходны).

Таблица 7

Изменчивость разных видов индексов у сосняка сфагнового

Индекс	Ширина годовичного слоя	Ширина зоны поздней древесины	Ширина зоны ранней древесины
Ширина годовичного слоя	1	—	—
Ширина зоны поздней древесины	0,92	1	—
Ширина зоны ранней древесины	0,91	0,78	1

На основе анализа данных табл. 7 можно отметить, индекс ширины слоя поздней древесины сильно связан как с индексом ширины годовичного слоя ($r = 0,92$). При этом индекс ранней древесины сильно связан как с индексом ширины годовичного слоя ($r = 0,91$), так и с индексом ранней древесины ($r = 0,78$).

Наиболее чётким проявлением неблагоприятных климатических факторов в древесно-кольцевых хронологиях являются реперные годы (с экстремально низкими значениями радиального прироста). Реперные годы выделялись с помощью метода, предложенного Ньюиртом с соавт. [10]. Дополнительным условием выделения реперных лет было наличие синхронного спада прироста у 70 % деревьев на пробной площади [11, 12].

Анализ реперных лет за последние 101 год (1914–2015 гг.) показывает, что их количество и повторяемость различны для насаждений из разных условий произрастания (табл. 8).

Максимальное количество реперных лет (10) за исследуемый период наблюдалось у сосняков сфагновых. Минимальное – у сосняков вересковых (5). Наиболее неблагоприятными годами, которые отразились в радиальном приросте деревьев большинства хронологий, являлись 1914 и 1979 годы. Для них были характерны засухи в июне-июле, которые и способствовали сильному угнетению радиального прироста.

Таблица 8

Индексы радиального прироста в реперные годы у сосны в разных типах леса

Реперные годы	Сосняк					
	Мшистый	Вересковый	Кисличный	Долгомошный	Багульниковый	Сфагновый
1914	-0,205	-0,201	-0,56	-0,51	—	—
1917	—	—	-0,042	-0,041	—	—
1920	—	—	—	—	-0,374	-0,341
1925	—	—	—	—	-0,429	-0,347
1930	—	—	—	—	—	-0,512
1934	—	—	—	—	-0,371	-0,598
1940	-0,356	-0,262	—	—	—	—
1944	—	—	—	—	-0,098	-0,156
1945	-0,015	—	—	—	-0,312	-0,485
1947	—	—	-0,243	-0,243	—	—
1957	—	—	—	—	-0,428	-0,431
1971	-0,093	-0,186	—	—	—	-0,289
1979	-0,262	-1,314	-0,072	-0,068	—	—
1992	—	—	-0,168	-0,159	-0,09	-0,011
1993	—	—	-0,367	-0,411	—	—
1999	—	—	—	—	-0,067	-0,069
2014	-0,008	-0,101	-0,16	—	—	—
Итого:	6	5	6	6	8	10

В результате проведенного исследования анатомических параметров древесины *Pinus sylvestris* L. выявлено, что в зависимости от условий, в которых она развивается, анатомическое строение годовичных слоев имеет некоторые особенности. Получены средние значения и стандартное отклонение некоторых количественных анатомических признаков древесины сосны из разных типов леса (табл. 9).

Признак	ПП1	ПП2	ПП3	ПП4	ПП5	ПП6
Радиальный размер полостей трахеид поздней древесины, мкм	21,4	16,1	17,6	13,4	10,9	11,1
S_x	4,99	3,87	1,62	3,53	1,61	1,53
Тангенциальный размер полостей трахеид поздней древесины, мкм	15,4	14,6	15,9	12,5	12,1	10,5
S_x	5,31	4,13	4,31	3,758	3,56	3,21
Радиальный размер полостей трахеид ранней древесины, мкм	41,7	35,1	44,7	34,3	31,1	29,1
S_x	9,26	5,67	8,97	1,30	7,9	9,1
Тангенциальный размер полостей ранней древесины, мкм	29,9	28,1	29,8	26,5	25,1	21,5
S_x	5,99	5,33	5,91	4,42	4,12	3,44
Толщина стенок трахеид поздней древесины, мкм	5,16	2,63	5,6	5,6	5,4	6,9
S_x	1,31	1,24	1,08	0,75	0,75	0,98
Толщина стенок трахеид ранней древесины, мкм	2,5	2,6	2,1	2,3	1,9	1,8
S_x	0,74	0,71	0,25	0,27	0,24	0,21

Примечание: S_x – среднее квадратическое (стандартное) отклонение.

Анатомические исследования трахеид годовичных слоев выявили существенные различия: наибольшие радиальный и тангентальный размеры полостей трахеид как ранней, так и поздней древесины у модельных деревьев сосны с пробных площадей № 1 и № 3 (сосняк вересковый и сосняк кисличный). Трахеиды с более узкими полостями характерны для сосняка багульникового и сфагнового (ПП5 и ПП6).

Толщина тангентальных стенок трахеид поздней древесины максимальна на ПП6 (сосняк сфагновый). Толщина тангентальных стенок трахеид ранней древесины максимальна на ПП2 (сосняк вересковый). По-видимому, описанные отличия анатомической структуры годовичных слоев имеют адаптивный характер, и напрямую зависят экотопических условий произрастания, играющих важную роль в динамике прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Выводы

Как показали проведенные исследования, величина радиального прироста варьирует у деревьев сосны в очень больших пределах, что свидетельствует о высокой чувствительности их к флуктуациям условий среды и больших адаптационных возможностях.

Каждый тип леса отличается от других амплитудой и характером изменчивости ширины годовичных слоев. Отмечено, что деревья сосны обыкновенной, произрастающие на одном участке в одном древостое со сходными лесотипологическими условиями, одинаково реагируют на изменения внешних факторов и имеют схожие закономерности в колебаниях динамики радиального прироста.

Установлено, что на почвах неустойчивого и нормального увлажнения формируется древесина с меньшей долей поздней зоны в годовичном слое, в то время как на почвах повышенного увлажнения и на верховых болотах наблюдается больший процент поздней древесины в годовичном слое.

Результаты, полученные на основе сравнительно-анатомического изучения древесины, продемонстрировали, что в неблагоприятных лесорастительных (избыточное увлажнение) условиях закладываются меньшие по размеру трахеиды, что и обуславливает снижение радиального прироста.

Список литературы

1. Розанов, М. И. Задачи судебной дендрохронологии / М. И. Розанов. // Проблемы экспертизы растительных объектов. – М.: ВНИИСЭ. – 1972. – С. 81–82.
2. Ярошенко, П. Д. Геоботаника. Основные понятия, направления и методы / П. Д. Ярошенко. – М.-Л.: Наука, 1961. – 476 с.
3. Анучин, Н. П. Лесная таксация / Н. П. Анучин. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 552 с.
4. Шиятов, С. Г. Дендрохронология, ее принципы и методы / С. Г. Шиятов // Зап. Свердлов. отд. ния ВБО. Свердловск. – 1973. – №. 6. – С. 53–81.
5. Rinn, F. TSAP-Win: time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications. Version 4.64. User reference / F. Rinn. – Heidelberg, Germany: Frank Rinn Distribution. – 2013. – 100 p.
6. Фурст, Г. Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей / Г. Г. Фурст. – М.: Наука, 1979. – 155 с.

7. Яценко-Хмелевский, А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины / А. А. Яценко-Хмелевский. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1954. – 337 с.
8. Cook, E. A time series analysis approach to tree ring standardisation / Doctoral dissertation Philosophy with a major in Watershed Management / E. Cook. // The University of Arizona. – 1985. – 183 p.
9. Ellenberg, H. Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden / H. Ellenberg // Landwirtsch. Pflanzensoziol. – Stuttgart: Ulmer, 1950. – № 1. – 141 S.
10. Битвинскас, Т. Т. Дендроклиматические исследования / Т. Т. Битвинскас. – Л.: Гидрометиздат, 1974. – 170 с.
11. Schweingruber, F. H. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology / F. H. Schweingruber, D. Eckstein, F. Serre-Bachet, O. U. Braker // Dendrochronologia. – 1990. – № 8. – P. 9-38.
12. Schweingruber, F. N. Tree rings: Basics and applications of dendrochronology / F. N. Schweingruber. – Dordrecht: Reidel Publ., 1988. – 276 p.

A. N. Khokh, D. E. Kuzmenkov

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF GROWING CONDITIONS ON THE VARIABILITY OF RADIAL GROWTH OF SCOTS PINE

*Results of the studies of the growing conditions influence on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) are presented in this paper. The usage of the dendrochronological, anatomical, statistical methods allowed us to conduct a comprehensive study of the spatial features of pine growth in contrast forest types. It was found that each forest type is different from other in amplitude and nature of the variability of the width of tree rings.*

И. В. Рышкель¹, О. С. Рышкель², Ю. В. Мурашко¹

¹Международный государственный институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь
²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОТЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Биоиндикация – определение степени загрязнения геофизических сред с помощью растений и живых организмов, биоиндикаторов. Растения являются важным элементом биологического мониторинга, так как чутко реагируют на состояние природной среды. В статье представлены результаты исследований по оценке загрязнения воздуха г. Пинска и Пинского района.

➤ **Ключевые слова:** биоиндикация, лишеноиндикация, лишайники, сосна обыкновенная.

Введение

Атмосферный воздух – основной компонент биосферы. Каждый человек знает, что он без пищи и воды может жить несколько суток, а без воздуха – только нескольких минут. Общее количество кислорода в атмосферном воздухе составляет $1,03^{10}$ т. Воздуха примерно в пять раз больше. Опасаться, что в ближайшей перспективе его будет не хватать, не следует, даже при увеличении его использования всеми живыми организмами и расходовании на производственные нужды.

Человеку стоит беспокоиться и заботиться не о количестве воздуха, который ему необходим, а больше уделять внимание его качеству, поскольку в последнее время загрязнение атмосферы носит прогрессирующий характер. Под загрязнением атмосферы понимают присутствие в ней одного или более соединений, или их комбинаций в таких количествах и в течение такого времени, что они могут оказать вред здоровью человека, или существенно повлиять на сложившийся уклад жизни [4]. Основным источником загрязнения атмосферы является деятельность человека и локализация выбросов источников загрязнения в сравнительно небольших географических районах – городах, промышленных центрах, микрорайонах, т. е. в непосредственной близости или непосредственно в местах проживания человека.

В связи с этим, наблюдение и оценка состояния атмосферного воздуха для определения степени его загрязнения являются особо актуальными.

Для этих целей применяются методы биоиндикации загрязнения окружающей среды, как наиболее точные и простые.

С помощью метода лишеноиндикации и по состоянию хвоинок сосны обыкновенной, без дополнительных затрат на сложное и дорогое оборудование и реактивы, можно дать точную оценку степени загрязнения атмосферного воздуха, на что указывает ряд проведенных ранее исследований [1, 3, 6].

Чувствительные растения-индикаторы указывают на наличие загрязняющего вещества в воздухе ранними морфологическими реакциями в своем развитии, а также индикаторное значение имеет как наличие, так и отсутствие вида на анализируемой территории.

Биомониторинг может осуществляться путем наблюдений за отдельными растениями-индикаторами, популяцией определенного вида и состоянием фитоценоза в целом. На уровне вида обычно производят специфическую индикацию какого-то одного загрязнителя, а на уровне популяции или фитоценоза общего состояния среды [4, 5].

Методика и объекты исследования

В качестве методик для оценки загрязнения атмосферного воздуха в наших исследованиях использовались методы, основанные на оценке состояния хвои сосны обыкновенной и лишеноиндикации.

Лишайники используются для наблюдения за распространением в атмосфере более 30 химических элементов: лития, натрия, калия, магния, кальция, стронция, алюминия, титана, ванадия, хрома, марганца, железа, никеля, меди, цинка, кадмия, свинца, ртути, урана, фтора, йода, серы, мышьяка, селена и др. [7, 8].

Многочисленные исследования, проводимые в районах промышленных объектов, на заводских и прилегающих к ним территориях показывают прямую зависимость между загрязнением атмосферы

и сокращением численности определенных видов лишайников. Особая чувствительность лишайников объясняется тем, что они не могут выделять в окружающую среду поглощенные токсичные вещества, которые вызывают физиологические нарушения и морфологические изменения [9].

По мере приближения к источнику загрязнения слоевища лишайников становятся толстыми, компактными и почти совсем утрачивают плодовые тела, обильно покрываются соредиями. Дальнейшее загрязнение атмосферы приводит к тому, что лопасти лишайников окрашиваются в беловатый, коричневый или фиолетовый цвет, их талломы сморщиваются и погибают.

При изучении загрязнения атмосферного воздуха методом лишеноиндикации проводили обследование деревьев осины обыкновенной (*Populus tremula*). На стволы деревьев с южной стороны на высоте 150 см накладывали учетную площадку (10×10 см). Пробная площадка ограничивалась на стволе деревянной рамкой с натянутой тонкой проволокой с образованием ячеек сечением 0,5×0,5 см. На учетной площади фиксировали, какие виды лишайников встретились, какой процент общей площади рамки занимает каждый растущий вид.

При оценке загрязнения воздуха при помощи метода лишеноиндикации за основу использовали данные табл. 1 и формулу 1 для определения относительной чистоты атмосферы [2, 10].

Таблица 1

Оценка частоты встречаемости и степени покрытия лишайниками субстрата

Частота встречаемости		Степень покрытия		Балл
Очень редко	Менее 5 %	Очень низкая	Менее 5 %	
Редко	5–20 %	Низкая	5–20 %	2
Редко	20–40 %	Средняя	20–40 %	3
Часто	40–60 %	Высокая	40–60 %	4
Очень часто	60–100 %	Очень высокая	60–100 %	5

$$\text{ОЧА} = \frac{Н+2Л+3К}{30}, \quad (1)$$

где ОЧА – относительная чистота атмосферы; Н – число накипных лишайников; Л – листоватых; К – кустистых.

Определение состояния атмосферного воздуха по оценке состояния хвои сосны обыкновенной проводили следующим образом. С ветвей 25 деревьев с южной стороны кроны отбирали по два побега одинаковой длины (примерно по 10–12 см). С них отбирали хвою и визуально оценивали. Степень повреждения и усыхания хвои определяли по шкалам (табл. 2, 3).

Таблица 2

Классы повреждения хвои сосны обыкновенной

Класс	Повреждение хвои
1	Хвоинки без пятен
2	Небольшое число мелких пятен
3	Большое число чёрных и жёлтых пятен, некоторые из них крупные, во всю ширину хвоинки

Таблица 3

Классы усыхания хвои сосны обыкновенной

Класс	Усыхание хвои
1	Нет сухих участков
2	Усыхание кончика на 2–5 мм
3	Усохла треть хвоинки
4	Вся хвоинка жёлтая или более половины её длины сухая

Для проведения исследований по данным методикам было выбрано две площадки на территории города Пинска и Пинского района.

Пинск – город областного подчинения, центр Пинского района. Население Пинска составляет 137 519 человек. Площадь Пинска – 5048 га. Географически город расположен на юге республики, на р. Пина, в 193 км на восток от Бреста. Пинск является крупным транспортным узлом. Здесь проходят железнодорожная и автомагистраль Гомель–Брест, речной судоходный путь по Пине, Припяти. В городе работает более 50 промышленных предприятий. Ведущими являются: ЗАО «Амкодор-Пинск» – производитель дорожно-строительной техники, ОАО «Пинский завод средств малой механизации», Спичечная фабрика ЗАО «Пинскдрев», ЗАО «Пинскдрев» – крупнейшее белорусское деревообра-

тывающее предприятие, ОАО «Полесье» – трикотажное предприятие. Также в городе работают предприятия химической, микробиологической, полиграфической и других отраслей.

Учетная площадка № 1 в г. Пинске была определена вблизи улицы Зои Космодемьянской (географические координаты 52.116279, 26.098086).

В качестве альтернативы городским условиям учетную площадку № 2 выбрали за городом на участке смешенного леса вблизи д. Соколовка, Пинского района (географические координаты 52.395717, 25.827635). Расстояние между учетными площадками около 50 км.

Результаты исследования и обсуждение

Лишайники – это симбиотические организмы, состоящие из гриба и водоросли. Они очень чувствительно реагируют на нарушения баланса между обеими сторонами организма. Лишайники не имеют сосудов и корней. Все питательные вещества поступают непосредственно в слоевище (таллом) лишайника из окружающей среды. Таким же образом эти организмы усваивают вещества из воздуха, а значит, накапливают загрязняющие атмосферу вещества. Газообмен у лишайников проходит свободно через всю поверхность. Большинство токсичных веществ концентрируется из атмосферного воздуха в дождевой воде, которую поглощают лишайники. Этим они отличаются от споровых и семенных растений, поглощающих воду в основном из почвы [9].

Определив видовой состав лишайников, встречаемых на площадке и подсчитав процент общей площади рамки каждого растущего там вида, был произведен расчет средних баллов встречаемости и покрытия для накипных, листоватых и кустистых лишайников.

Сравнивая полученные результаты биоиндикации при помощи лишайников по относительной чистоте атмосферы, установлено, что атмосферный воздух в районе города Пинска (учетная площадка № 1) по своему качеству немного уступает загородной площадке № 2 (участок смешенного леса вблизи д. Соколовка Пинского района). Показатель относительной чистоты атмосферного воздуха в г. Пинске составлял 0,3, в загородной зоне – 0,4.

Уменьшение показателя относительной чистоты воздуха в городских условиях города Пинска можно связать с сильным антропогенным воздействием на фитоценозы таких загрязнителей, как диоксид серы, оксиды азота, углеводороды и др. Среди них наиболее типичным является диоксид серы, образующийся при сгорании серосодержащего топлива (работа предприятий теплоэнергетики, котельных, отопительных печей населения, а также транспорта, особенно дизельного).

Устойчивость растений к диоксиду серы различна. Даже незначительное наличие диоксида серы в воздухе хорошо диагностируется лишайниками – сначала исчезают кустистые, потом листоватые и, наконец, накипные формы [2].

На контрольных участках, где определяли относительную чистоту атмосферы при помощи лишайников, нами также был проведен учет степени повреждения хвои сосны обыкновенной. Классы повреждения и усыхания хвои сосны обыкновенной определяли согласно табл. 2 и 3.

Проанализировав полученные результаты (табл. 4) можем утверждать, что растения сосны обыкновенной, произрастающие на участке № 1, испытывают большую техногенную нагрузку, что отражается на состоянии хвои. На участке № 2 только 12 % хвоинок имеют некротические пятна, этот показатель на участке № 1 составлял 57,5 %, то есть почти в 5 раз больше.

Таблица 4

Показатели загрязнения участков по состоянию хвои сосны

Классы	Участок № 1*		Участок № 2**	
	количество хвоинок, шт	доля поврежденных и усохших хвоинок, %	количество хвоинок, шт	доля поврежденных и усохших хвоинок, %
Повреждение хвои				
1 класса	2271	42,5	4947	88
2 класса	1710	32	506	9
3 класса	1362	25,5	168	3
Усыхание хвои				
1 класса	3446	64,5	5199	92,5
2 класса	721	13,5	197	3,5
3 класса	1176	22	225	4
4 класса	0	0	0	0
Исследовано хвоинок	5343	100	5621	100

Примечание: * – площадка № 1, участок лесопарка г. Пинска, ** – площадка № 2, участок смешенного леса вблизи д. Соколовка Пинского района.

Проанализировав количество поврежденной и усохшей хвои, можно отметить, что участок смешенного леса вблизи д. Соколовка Пинского района характеризуется невысокими баллами усыхания.

ния хвои. Более 92 % хвои относится к первому классу усыхания. Аналогичный показатель в городе Пинске составлял 64,5 %, что на 28 % ниже, д. Соколовка.

Обе методики заслуживают внимания экологов, однако в наших исследованиях оценка состояния чистоты атмосферного воздуха по состоянию хвои сосны обыкновенной зарекомендовала себя, как более чувствительная методика, поскольку различия между учетными площадками проявились более контрастно.

Информация, полученная в результате использования данных методов, позволяет выявить степень загрязнения атмосферы. В свою очередь, это может помочь человеку проконтролировать чистоту воздуха, которым он дышит а, следовательно, уменьшить нагрузку на своё здоровье.

Выводы

1. Биоиндикация с помощью растений – один из важнейших и доступных методов экологического мониторинга. Однако, используя этот метод, следует учитывать то, что лишайники и сосна обыкновенная, как и любые живые организмы, откликаются на различные изменения среды. Поэтому в природе часто невозможно установить конкретную причину тех или иных повреждений. Иногда простое воздействие температуры или влажности может перекрывать влияние загрязнения.

2. Состояние атмосферы г. Пинска и Пинского района является приемлемым для человека, однако условия городской среды оказывают негативное влияние на чистоту воздуха. Результаты по оценке чистоты атмосферного воздуха, полученные на участке смешенного леса вблизи д. Соколовка, превосходят показатели городских условий Пинска.

3. Методика биоиндикации по состоянию хвои сосны зарекомендовала себя, как более чувствительная, поскольку различия между учетными площадками проявились более контрастно.

4. По результатам лишеноиндикационных исследований и состояния хвои сосны можно провести картографирование территории, используя индексы, которые позволяют оценить степень загрязненности воздуха населенных пунктов, а зачастую также отыскать источник выбросов в атмосферу – оконтурить его.

Список литературы

1. Блюм, О. Б. Влияние газообразных загрязнителей на лишайники / О. Б. Блюм. – Таллин: Международная школа по лишеноиндикации, 1984. – С. 35–51.

2. Бученков, И. Э. Спецпрактикум по биоэкологии. Часть 1. Растения / И. Э. Бученков, Е. Р. Грицкевич. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2014. – 94 с.

3. Бязров, Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л. Г. Бязров. – М.: Научный мир, 2002. – 336 с.

4. Загрязнения воздуха и жизнь растений / под ред. М. Трешоу. – Л.: Гидрометеиздат, 1998. – 380 с.

5. Маннинг, У. Дж. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У. Дж. Маннинг, У. А. Федер. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – 143 с.

6. Мелехова, О. П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений – 2-е издание испр. / О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева, Т. И. Евсеева. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – С. 146–153.

7. Пчелкин, А. В. Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды: методическое пособие / А. В. Пчелкин, А. С. Боголюбов. – М.: Экосистема, 1997. – 315 с.

8. Удянская, Е. А. Изучение атмосферного загрязнения городской среды на основе чувствительности лишайников / Е. А. Удянская. – Белгород: БелГУ, 2001. – С. 67–74.

9. Чеснокова, С. М. Лишеноиндикация загрязнения окружающей среды: практикум / С. М. Чеснокова. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 1999. – 36 с.

10. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. – М.: Академический проект, 2006. – 416 с.

I. V. Ryshkel, O. S. Ryshkel, Y. V. Murashko

USE BIOINDICATION METHOD FOR DETERMINING THE PURITY OF THE AIR

Bioindication – determination of the degree of contamination of the geophysical environment through plants and living organisms, bioindicators. Plants are an important element of biological monitoring, as sensitive to the natural environment. The article presents the results of studies on assessment of pollution of air of Pinsk and Pinsk district.

Г. В. Толкач¹ С. С. Позняк²

¹Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, Республика Беларусь

²Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

К ВОПРОСУ ПРИМЕНИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ БРЕСТСКОГО РАЙОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ

В статье представлены данные о содержании валовых соединений тяжелых металлов в почвах лесных экосистем Брестского района, рассматриваемых в качестве условно чистой территории. Установлено, что содержание химических элементов в почвах значительно ниже региональных значений, за исключением тяжелых металлов Си, Сr и Zn.

➤ **Ключевые слова:** валовая форма, фоновое содержание, почвенный покров, пробные площадки, тяжелые металлы, почвенные образцы, микроэлементы, полуквалиметрический эмиссионный спектральный анализ, статистические параметры, степень загрязнения.

Введение

Загрязнение почвы тяжелыми металлами является одним из наиболее опасных видов химического изменения почвенного покрова территорий и одним из сильнейших факторов негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека [1]. При увеличении концентраций тяжелых металлов в почве они оказывают токсическое действие, причем негативные эффекты их повышенного содержания усугубляются продолжительными периодами полувыведения, которые измеряются в ряде случаев сотнями и тысячами лет [2].

В настоящее время наиболее распространенным методом нормирования уровней накопления тяжелых металлов в почвах является гигиенический подход, который базируется на использовании показателей ПДК [3]. В основу имеющихся сейчас разработок ПДК положены сведения о валовом содержании тяжелых металлов в почве. В системе Тейтона за предельно допустимую концентрацию принят верхний предел содержания тяжелых металлов, обнаруженный в нормальной почве. Позднее была предложена система Клоке: в ней за основу взяты обычные содержания тяжелых металлов в почве и для некоторых из них, например, для мышьяка, молибдена, никеля за ПДК принят верхний предел. Для большинства тяжелых металлов допускаются ПДК, превосходящие верхнюю норму в несколько раз. Предполагается, что такие значения ПДК позволят получать гигиенически чистую растительную продукцию. Недостатком данных систем является большая разница между нижними и верхними значениями содержания тяжелых металлов в нормальных почвах.

Однако показатель ПДК, направленный на сохранение здоровья людей, не позволяет выявить долевое участие антропогенного фактора в содержании тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий. В большинстве случаев, оценивая качество почвы, исходят из ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) того или иного компонента. Широкое распространение в настоящее время получает сравнение фактического содержания тяжелых металлов в почвах с кларковыми значениями [12]. Некоторые авторы допускают увеличение содержания тяжелых металлов в почве до уровня двух кларков, что сможет обеспечивать, по их мнению, сохранение почвы в группе незагрязненных почв. Однако ориентация на кларки, представляющие собой средние содержания тяжелых металлов в почвах мира или крупного региона малоперспективна, поскольку в данном случае исчезают локальные особенности химического состава объектов исследования [10]. Более точную оценку, как предполагают другие исследователи, позволит дать сравнение с фоновыми значениями, установленными для определенного типа почвы с учетом его генетических особенностей, условий и факторов почвообразования. Поэтому они предлагают удвоение местных фоновых содержаний тяжелых металлов в почве и установление в качестве значений ПДК. В этом случае удвоенный фон у многих тяжелых металлов окажется в пределах естественных значений их валового содержания. При таком жестком контроле предполагается сохранение естественных свойств почвы и ее плодородия.

В связи с этим, для контроля и оценки загрязненности почв тяжелыми металлами необходимо использовать величины содержания этих элементов в условно чистых, или фоновых почвах. Условно чи-

стыми (фоновыми) называются территории, исключенные из промышленного и сельскохозяйственного использования, удаленные от крупных автомагистралей и других источников загрязнения.

Содержание химических веществ в почвах фоновых территорий соответствует ее природному химическому составу. В пределах фоновых территорий на содержание элементов влияют: геохимические особенности покровных отложений; разнообразие материнских пород; содержание органического вещества; pH среды; гидрологический режим, интенсивность промывания почвенного профиля; содержание высокодисперсных минералов [4, 5]. Изучение фоновых содержаний тяжелых металлов в почве позволяет обнаружить их превышение в аналогичных объектах, испытывающих влияние антропогенных факторов.

Материалы исследований

В наших исследованиях в непосредственной близости к лесным экосистемам Брестского района, рассматриваемым в качестве условно чистой территории, расположены садовые товарищества, дачные кооперативы, фермерские хозяйства, а также крупные производители сельскохозяйственной продукции (СПК, ОАО), в которых ведется сельскохозяйственное производство с различной степенью интенсивности. Проблеме загрязнения тяжелыми металлами окружающей среды в литературе уделено много внимания, однако вопросы микроэлементной обеспеченности почв лесных экосистем Брестского района оставались недостаточно изученными.

Поэтому **целью исследования** является изучение величин содержания тяжелых металлов в почвах лесных экосистем Брестского района.

Объект исследования – дерново-подзолистые слабоподзоленные почвы на мощных песках в сочетании с различными типами дерново-подзолистых заболоченных почв.

Предмет исследования – содержание валовых соединений тяжелых металлов.

Методы исследования – отбор проб, пробоподготовка, химический анализ образцов, статистическая обработка экспериментальных данных. На участках исследования производился отбор объединенных почвенных проб, которые формировались с точечных проб почв. Точечные пробы отбирались методом «конверта» с учетом рельефа местности из 3-х проб, расположенных на удалении 20 м, в соответствии с существующими методическими рекомендациями с горизонтов 5–20 см, 21–35 см, 36–50 см [6, 7] (рис. 1). Для формирования объединенной пробы, отобранные точечные пробы смешивались на полиэтиленовой пленке до гомогенного состояния. Из полученной объединенной пробы удалялись камни, обломки материалов техногенного происхождения. Масса объединенной пробы, предназначенной для проведения испытаний, составляла не менее 1,0 кг.

Подготовленные пробы исследовались на базе аккредитованной центральной лаборатории РУП «Белгеология» г. Минска полуколичественным эмиссионным спектральным анализом на приборе ЛАС-8-2.

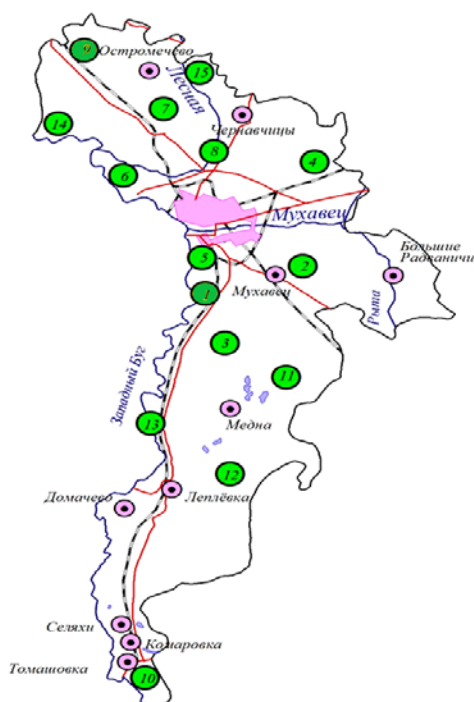


Рисунок 1 – Территориальное расположение площадок отбора проб на условно чистой территории

Результаты и их обсуждение

Результаты спектрального анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в лесных почвах на условно чистой территории Брестского района

№ на карте	Пробные площадки	Средние значения валовых содержаний тяжелых металлов (мг/кг)														
		Ni	Co	V	Mn	Ti	Cr	Pb	Zr	Nb	Cu	Zn	Yb	Y	Ga	Sn
1	Заказанка	8	13	23	230	2000	63	15	130	6	6	30	1	10	7	2
2	Южное-1	15	11	43	560	1700	50	13	360	7	8	30	4	13	6	3
3	Страдичи	7	1	37	300	1160	37	13	267	4	6	30	2	10	5	2
4	Тельмы	5	10	23	270	530	17	13	670	9	12	30	8	45	3	1
5	Бернады	10	10	27	660	2300	15	14	270	23	13	30	9	53	4	1,5
6	Непли	7	10	33	220	900	10	11	106	5	5	30	3	17	5	1
7	Б. Мотыкалы	15	5	10	300	2000	100	23	300	10	57	50	7	-	10	2
8	Дружба	15	5	10	1300	2000	100	23	270	10	55	60	5	-	10	3
9	Люта	8	1	10	200	5000	23	20	300	9	20	30	6	33	20	3
10	Томашовка	15	2	13	430	1700	18	17	150	6	23	30	5	30	15	1,5
11	оз. Медно	7	1	10	230	1700	10	8	130	3	7	30	1	10	3	1
12	Леплевка	10	5	10	300	2000	15	10	270	10	6	30	1	10	5	1
13	Дубица	10	5	10	230	1700	15	13	300	10	12	30	1	10	5	1
14	Чижевичи	7	5	10	300	2000	17	13	267	10	12	30	1	10	7	1,5
15	Остромечево	5	5	10	430	1700	18	15	267	10	15	30	1	10	7	1
Min		5	1	10	200	530	10	8	106	3	5	30	1	10	3	1
Max		15	13	43	1300	5000	100	23	670	23	57	60	9	53	20	3
\bar{x}		9,6	5,9	18,6	397,3	1893	34	15	271	8,8	17	33,3	3,7	19	7,5	1,7
σ		3,7	3,9	11,6	282,5	979,9	31	4,4	134	4,6	16	8,9	2,8	14	4,7	0,8
M		0,9	1,1	3,1	75,6	261,9	8,2	1,2	36	1,2	4,4	2,4	0,8	3,9	1,2	0,2
U%		39	67	62	71,2	51,8	91	29	49	52	97	27,0	78	77	62,6	45
T		9,7	5,6	6,0	5,3	7,2	4,1	12	7,6	7,1	3,9	13,9	4,8	4,9	6,0	8,2
Кларк		20	6	34	247	1562	36	12	200	12	13	35	2	23	н/у	1
ПДК/ОДК		20	20	150	1500	н/у	100	32	н/у	н/у	33	55	н/у	н/у	н/у	4,5

Примечание: Min – минимальное значение, мг/кг, Max – максимальное значение, мг/кг, \bar{x} – среднее арифметическое значение, мг/кг, σ – стандартное отклонение, m – ошибка средней, U – коэффициент вариации (%), t – коэффициент достоверности для среднего значения, *Региональные кларки приведены для дерново-подзолистых почв по Петуховой, Н. Н., Кузнецову, В. А. [8], **ПДК (ОДК) [9] для дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв, н/у – не установлено.

В результате проведенных исследований установлено, что, в целом, содержание химических элементов Ni, Co, Cr, Mn, Nb, Ni, Pb, Sn в почвах лесных экосистем Брестского района не превышает установленных значений ПДК, однако на некоторых участках условно чистой территории отмечается превышение величин региональных кларков. Превышение значений ПДК элементов Cu и Zn регистрировалось в почвах вблизи озера Медное и на юге района в окрестностях агрогородка Томашовка (табл. 1).

Среднее содержание никеля в почвах условно чистой территории составляет 9,6 мг/кг и варьирует от 5 до 15 мг/кг на разных пробных площадках (табл. 1). По содержанию кобальта не наблюдается превышение ПДК, а среднее содержание приблизительно равно кларковому значению, в то же время на пробных площадках 1, 2, 4, 5 и 6 наблюдается превышение кларкового значения более чем в 1,5 раза, что может быть связано с трансграничным переносом. По содержанию ванадия дерново-подзолистые почвы характеризуются незначительным содержанием данного микроэлемента в образцах всех пробных площадок, что объясняется, по-видимому, невысоким содержанием микроэлемента в материнской породе.

Количество марганца в почвах лесов колеблется от 200 мг/кг на пробной площадке № 9 до 1300 мг/кг на пробной площадке № 8 (рис. 2), среднее содержание в образцах – 397 мг/кг, что в 1,6 раза выше кларкового значения.

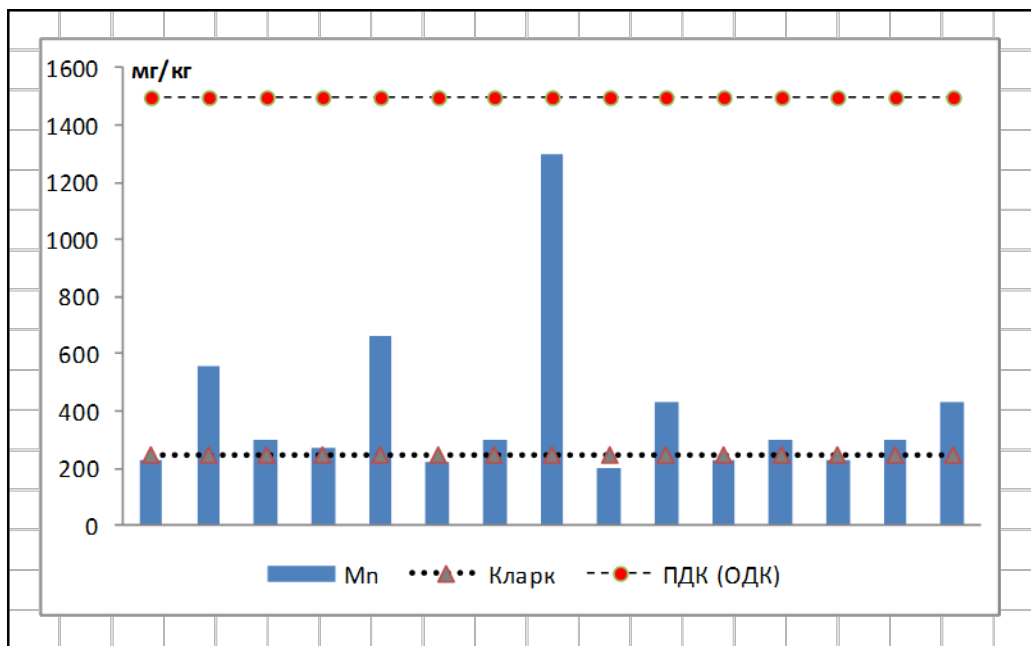


Рисунок 2 – Содержание марганца в почвах на условно чистых территориях

Содержание валовых соединений титана в почвах колеблется от 530 мг/кг на пробной площадке № 4 до 5000 мг/кг на пробной площадке № 9 (табл. 1), среднее содержание в образцах – 1893 мг/кг, что незначительно выше кларкового значения. По содержанию хрома в почве лесных экосистем значения колеблются от 10 мг/кг на пробных площадках № 6, 11 до 100 мг/кг на пробных площадках № 7, 8 (рис. 3), что находится на уровне ПДК и свидетельствует об опасности загрязнения выращиваемой продукции на них.

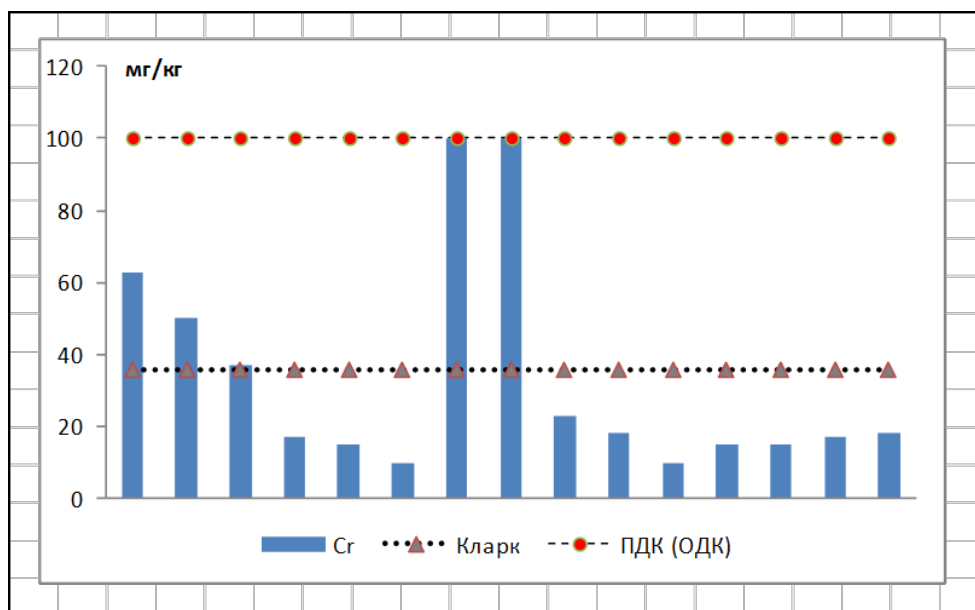


Рисунок 3 – Содержание хрома в почвах на условно чистых территориях

Количества валовых соединений свинца в дерново-подзолистой почве лесов колеблется от 8 мг/кг на пробной площадке № 11 до 23 мг/кг на пробных площадках № 7 и 8 (табл. 1), что находится ниже значений ПДК. Содержание циркония в почвах колеблется от 106 мг/кг на пробной площадке № 6 до 670 мг/кг на пробной площадке № 4 (табл. 1), среднее содержание составляет 270 мг/кг, что выше кларкового значения.

По содержанию химического элемента ниобий в почвах лесов значения колеблются от 3 мг/кг на пробной площадке № 11 до 23 мг/кг на пробной площадке № 5, что выше кларкового значения более чем в 1,5 раза (табл. 1), среднее содержание элемента составляет 8,8 мг/кг, что ниже кларкового значения. Количество меди в почвах колеблется от 5 мг/кг на пробной площадке № 6 до 55–57 мг/кг

на пробных площадках № 7 и 8 соответственно, что выше кларкового значения более чем в 4 раза, при этом наблюдается превышение значений ПДК (рис. 4), среднее содержание меди – 17 мг/кг, что выше кларкового значения (табл. 1).

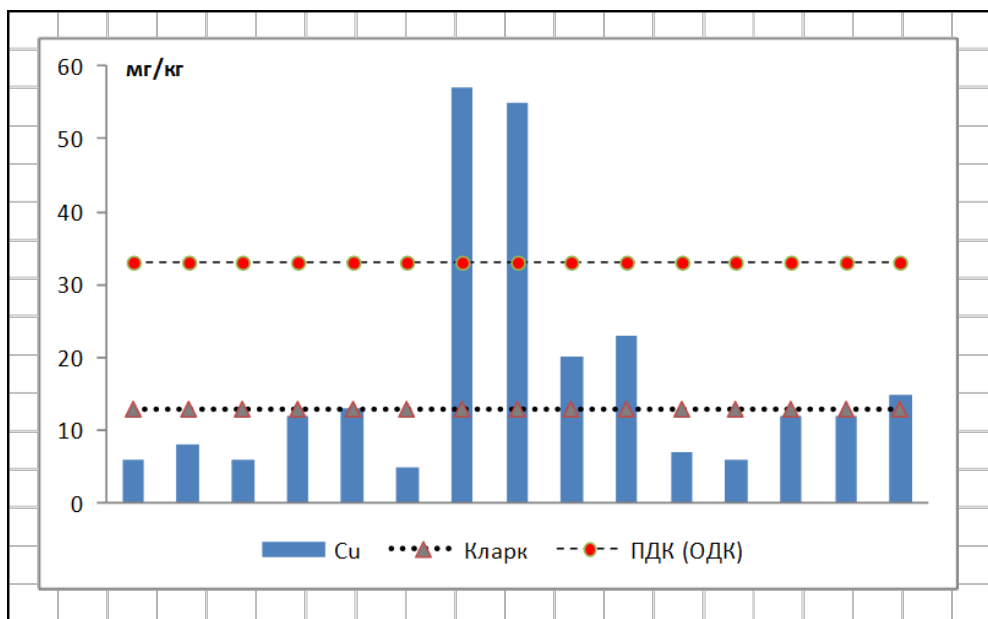


Рисунок 4 – Содержание меди в почвах на условно чистых территориях

Среднее содержание цинка в почвах лесных экосистем составляет 33,3 мг/кг и колеблется от 30 мг/кг до 50 мг/кг на пробной площадке № 6 и 60 мг/кг на площадке № 8 – 60 мг/кг, что выше значений ПДК (рис. 5).

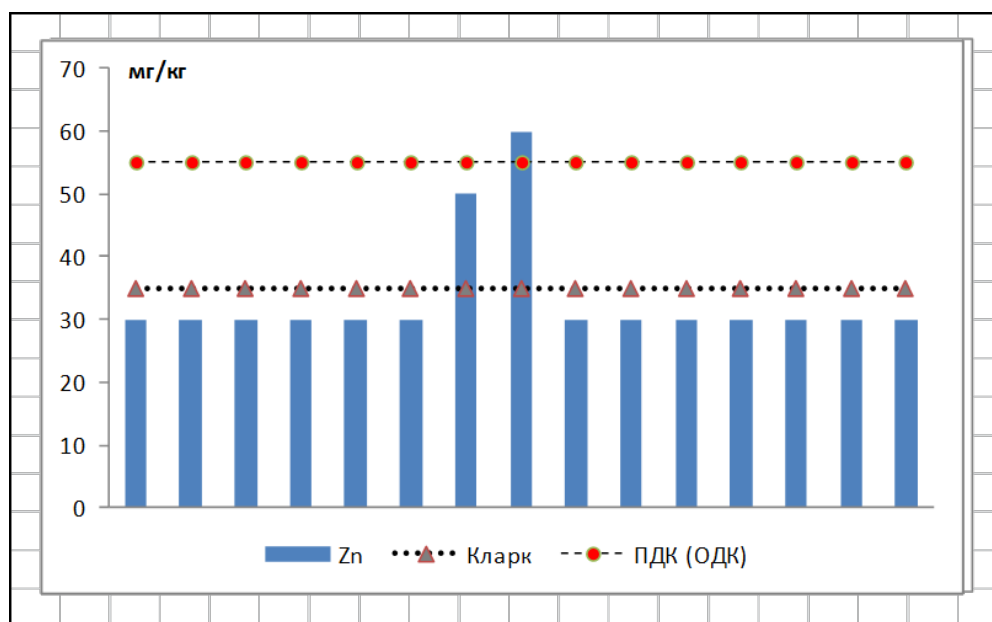


Рисунок 5 – Содержание цинка в почвах на условно чистых территориях

Количество иттербия в почвах колеблется от 1 мг/кг на пробных площадках № 1, 11 – 15 до 9 мг/кг – пробная площадка № 5, что выше кларкового значения более чем в 4 раза (табл. 1), среднее содержание – 4 мг/кг, что выше кларкового значения в 2 раза. По содержанию олова в почвах лесов значения колеблются от 1 мг/кг на пробных площадках № 4, 6, 11, 12, 13, 15 до 3 мг/кг – пробные площадки № 2, 8, 9, что выше кларкового значения в 3 раза (табл. 1), среднее содержание элемента составляет 1,7 мг/кг.

Поскольку оценка уровня загрязнения почвы по одному химическому элементу не может дать полной картины состояния исследуемой почвы, целесообразно рассчитать коэффициент концентрации химического

вещества K_c и суммарный показатель загрязнения: Z_c (суммарный показатель Саета), который рассчитывается по формуле

$$Z_c = (\sum K_c) - (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации химического элемента, n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию [11].

Одним из критериев, по которому можно судить о степени полиэлементного загрязнения почв, является суммарный коэффициент загрязнения [12]. Как следует из полученных данных, изучаемые дерново-подзолистые слабоподзоленные почвы лесных экосистем Брестского района по суммарному загрязнению классифицируются как незагрязненные (табл. 2 [10]), поскольку суммарный показатель Саета составляет значение $Z_c < 4$). Это дает нам основание считать возможным применить показатель содержания тяжелых металлов в почвах лесных экосистем в качестве эталона (условно чистого показателя) для оценки степени загрязненности почв, интенсивно или экстенсивно используемых для сельскохозяйственного производства.

Таблица 2

Суммарное загрязнение почв на условно чистой территории Брестского района

Химический элемент	Региональный кларк [10]	Песчаные и супесчаные почвы	
		Коэффициент концентрации химического элемента (K_c)	Суммарный показатель загрязнения (Z_c)
Ni	20	0,5	2,9
Co	6	0,9	
Mn	247	1,6	
Cr	36	0,9	
Pb	12	1,2	
Cu	13	1,3	
Zn	35	0,9	
Sn	1	2,3	
V	34	0,6	
Yb	2	1,9	
Y	23	0,8	

Заключение

В исследованиях авторов для оценки полиэлементного загрязнения почв лесных экосистем Брестского района химическими элементами использованы величины валового содержания этих элементов в дерново-подзолистых слабоподзоленных почвах, развивающихся на мощных песках в сочетании с различными типами дерново-подзолистых заболоченных почв.

Установлено, что, в основном, содержание химических веществ в почвах лесных экосистем соответствует ее природному химическому составу. Это, вероятно, является следствием того, что почвообразующие породы почв содержат мало микроэлементов вследствие обедненности глинистыми минералами, и, как следствие, почвы слабо накапливают их в органогенном слое, а также тем, что данные почвы полностью исключены из промышленного и сельскохозяйственного использования и удалены от крупных автомагистралей и других источников загрязнения.

Валовое содержание изучаемых химических элементов в почвах лесных экосистем Брестского района, расположенных в окрестностях городского поселка Остромечево, агрогородка Страдичи, деревень Непли, Леплевка, Дубица, Чижевичи, окрестностях озера Медное значительно ниже региональных фоновых значений.

Превышение значений ПДК элементов Cu и Zn регистрировалось в почвах лесов, территориально расположенных вблизи озера Медное и на юге района в окрестностях агрогородка Томашовка, что может быть связано с трансграничным переносом с территории Республики Польша.

Список литературы

1. Ильин, В. Б. О нормировании тяжелых металлов в почве / В. Б. Ильин // Почвоведение. – № 9. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 90–98.
2. Тиво, П. Ф. Тяжелые металлы и экология: науч. издание / П. Ф. Тиво, И. Г. Быцко. – Минск : Юнипол, 1996. – 192 с.

3. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях: науч. Издание / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
4. Добровольский, В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1989. – 305 с.
5. Чернова, О. В., Бекецкая, О. В. Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (тяжелые металлы и другие химические элементы). Почвоведение. – 2011. – № 9. – С. 1102–1113.
6. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
8. Петухова, Н. Н., Кузнецов, В. А. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси // Доклады АН Беларуси. – 1992 – Том 26, № 5. – С. 461–465.
9. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.12-1-2004.– Введ. 25.02.2004. – Минск: постановление главного государственного санитарного врача РБ, 2004. – 30 с.
10. Виноградов, А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры/ А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555 – 571.
11. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ревич Б. А., Саэт Ю. Е., Смирнова Р. С. (Утв. 15 мая 1990 г. № 5174 90). – М. : ИМГРЭ, 1990 – 462 с.
12. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды и пути их решения: учеб.-метод. пособие / Ю. А. Израэль. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.

G. V. Tolkach, S. S. Pazniak

FOR THE APPLICABILITY INDICATORS OF HEAVY METALS IN SOILS OF FOREST ECOSYSTEM BREST AREAS TO ASSESS THE DEGREE OF CONTAMINATION

The article presents data on the content of total heavy metals in soils of forest ecosystems of the Brest region, considered as conditionally clean area. The content of the chemical elements in soils is much lower regional values heavy metals except Cu, Cr and Zn.

В. М. Конькова¹, А. В. Бурло², И. П. Наркевич¹

¹Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

²Государственное научно-производственное объединение
«Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам»,
г. Минск, Республика Беларусь

ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ С ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ БРЕСТСКОЙ И МИНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

В статье представлены результаты годового мониторинга потоков углекислого газа, закиси азота и метана с нарушенных торфяных почв. В рамках исследования была установлена зависимость парниковых газов от влажности почвы, уровня стояния грунтовых вод, глубины торфяной залежи, температуры воздуха и почвы, вида возделываемых культур.

➤ **Ключевые слова:** парниковые газы, эмиссия парниковых газов, потоки углекислого газа, потоки метана, потоки закиси азота, нарушенные торфяники, уровень грунтовых вод, дыхание экосистемы, валовая первичная продукция, нетто-экосистемный обмен.

Введение

В настоящее время крупномасштабные глобальные изменения природной среды становятся все более очевидными, прослеживаются на различных уровнях во всех геосферах Земли и оказывают все возрастающее влияние на развитие человеческого общества [1].

Главным фактором глобальных изменений в XX в. и в настоящее время является прогрессирующее потепление климата, которое, судя по данным метеослужбы, продолжается уже свыше 100 лет [1]. Наиболее распространенным предположением о причине возникновения глобального потепления является накопление в атмосфере в результате техногенных выбросов различными отраслями промышленности таких газов, как диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O) и др., молекулы которых задерживают длинноволновую часть излучаемой земной поверхностью радиации и создают парниковый эффект, содействуя саморазогреву атмосферы [1].

CO_2 , CH_4 и N_2O являются одними из наиболее важных в отношении климата газовыми смесями, которые влияют на излучающее воздействие атмосферы и способствуют «парниковому эффекту». С середины XVIII в. атмосферные концентрации этих газов существенно увеличились. К настоящему времени в атмосфере концентрация диоксида углерода увеличилась с 280 до 388 ppm, концентрация атмосферного метана – с 715 до 1800 ppb, и закиси азота – с 270 до 323 ppb. [2]. Быстрое повышение атмосферной концентрации вызвало поглощение теплового излучения от поверхности Земли и, по всей вероятности, внесло значительный вклад в повышение средней мировой температуры на 0,6 °С. Увеличение атмосферной концентрации парниковых газов является основной причиной антропогенного изменения климата. Вклад CO_2 в антропогенный парниковый эффект составляет 63 %, CH_4 – 18 %, а N_2O – 6 %. Климатический эффект последних двух газов преимущественнее из-за их намного более высокого потенциала глобального потепления (ПГП) по сравнению с CO_2 [2]. За период в 100 лет метан обладает 21-кратным парниковым потенциалом углекислого газа, а закись азота – 301-кратным [3].

Климат является наиболее важным фактором, определяющим местоположение и биоразнообразие на торфяниках по всему миру. Прошлые изменения климата привели к их расширению или сокращению. Тесная взаимосвязь между климатом и распределением торфяников наводит на мысль, что изменения климата в будущем будет оказывать сильное влияние на торфяники [2].

Торфяники, в свою очередь, влияют на климат через ряд механизмов обратной связи, включая поглощение и выделение углекислого газа и метана, изменения отражательной способности поверхности земли и изменения микро- и мезоклимата [2].

Целью данной работы является количественная оценка эмиссии углекислого газа, метана и закиси азота с торфяных почв (на примере болот Копыш и Червень-2).

Объекты и методы исследования

В октябре 2013 г. сотрудниками ГНПО «Научно практического центра Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам» для проведения мониторинга потоков парниковых газов были выбраны и оборудованы пилотные площадки на указанных в техническом задании биотопах нарушенных торфяников.

Площадка Т1 располагалась на осушенном сельскохозяйственном торфянике возле д. Мостыки Березовского р-на Брестской обл. (координаты площадки 52°23.319' с.ш.; 25°09.933' в.д.). Данный торфяник до осушения являлся низинным осоковым болотом. Осушен в 1975 г с целью использования в сельском хозяйстве в качестве пашни и сенокосных угодий. Мощность торфяной залежи составляет 49 см.

Для проведения измерений потоков парниковых газов были выбраны три квадратных участка торфяника (70×70 см), на каждом из которых устанавливалась специальная пластиковая рамка.

На местности три участка расположены на расстоянии около 0,5 м вдоль прямой линии с востока на север. Такое расположение позволит минимизировать погрешности, вызванные влиянием закрытых эмиссионных камер на измеряемые потоки парниковых газов с участков. Также с северной стороны вдоль участков была установлена деревянная платформа, которая необходима для того, чтобы избежать искусственного (неестественного) выделения CO₂ и N₂O из почвенных пор, вызванного давлением массы оператора камеры при подходе к участку.

Возле площадки было установлено два пластиковых колодца для мониторинга динамики уровня грунтовых вод на участке. Один из колодцев оборудован автоматическим сенсором и самописцем, которые измеряют каждый час значение уровня грунтовых вод и температуры грунтовых вод. Второй колодец используется для периодических ручных измерений.

Мониторинг парниковых газов на площадке Т1 проводился на протяжении одного календарного года в период с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г. Высевание луговых трав (*Phleum pratense*) было проведено в апреле 2014 г. В связи с тем, что исследуемая площадка Т1 представляла собой переходную стадию от сельскохозяйственного биотопа на основе выращивания пропашных культур к установлению биотопов с многолетними луговыми травами, период мониторинга в один календарный год является достаточным. Суммарная эмиссия ПГ с площадки за период мониторинга, может использоваться, как годовой баланс ПГ для указанного биотопа в рамках существующих методов измерения, отчетности и проверки балансов парниковых газов торфяников.

В начале ноября 2013 г. года на болоте Червень-2 (Минская область) были установлены две площадки для измерения потоков парниковых газов: площадка Р1 (координаты площадки: 53° 47.511' с.ш., 28° 25.327' в.д.) представляет собой участок верхового болота с нарушенным гидрологическим режимом с доминированием *Calluna vulgris* и площадка Р2 (координаты площадки: 53° 47.513' с.ш., 28° 25.331' в.д.) представляет собой участок верхового болота с нарушенным гидрологическим режимом с доминированием *Polytrichum commune*. На каждой из площадок были выбраны три квадратных участка (70×70 см), на которых были установлены пластиковые рамки. Рамки служат для обозначения участков, а также в качестве платформы, на которую устанавливаются закрытые эмиссионные камеры при проведении измерений потоков парниковых газов.

Возле каждой из площадок было установлено по два пластиковых колодца для мониторинга уровня грунтовых вод. Один из колодцев оборудован автоматической системой измерения (Mini-Drive, Schlumberger Water service). Второй колодец использовался для ручных измерений.

Площадки Р1 и Р2 расположены на расстоянии порядка 20 м друг от друга. Выбранные для измерения участки расположены вдоль прямой линии, направленной с востока на запад. Такое расположение поможет сократить временные и физические затраты на проведение измерительных кампаний, а также минимизирует погрешности при измерении потоков парниковых газов, связанные с использованием метода закрытых камер. В декабре 2013 г. с северной стороны вдоль каждой из площадок были установлены деревянные платформы.

На площадках Р1 и Р2 полевые измерения потоков ПГ проводились с ноября 2013 г. по январь 2015 г., и были продолжены до декабря 2015 г. Таким образом, мониторинг потоков ПГ на площадках Р1 и Р2 продлится в течении двух лет, что позволит использовать полученные значения потоков ПГ для адаптации и операционализации существующих методов измерения, отчетности и проверки балансов парниковых газов с торфяников.

За истекший период на площадке Т1 было проведено 14 измерительных кампаний потоков двуокиси углерода (CO₂) и 18 измерительных кампаний потоков метана (CH₄) и закиси азота (N₂O). На площадках на площадках Р1 и Р2 было проведено 19 измерительных кампаний потоков CO₂ и 19 измерительных кампаний CH₄ и N₂O. Периодичность проведения измерений составляла 3–4 недели для потоков CO₂ и 2–3 недели для CH₄ и N₂O (в зависимости от сезона года).

Измерения потоков ПГ проводились с помощью метода закрытых статических камер. Используемая камера была изготовлена из ПВХ и имела форму правильной четырехгранной усеченной пирамиды (нижнее основание – 72,5 см, высота – 51 см, объем камеры – 0,234 м³), нижнее основание которой отсутствовало (в остальном камера герметична). Камера устанавливалась на изучаемый участок открытым нижним основанием. Поток CH₄ и N₂O из почвы определялись по скорости изменения концентрации этих газов внутри камеры. Для этого из внутреннего пространства камеры через равные промежутки времени отбирались пробы воздуха (60 мл). За одно измерение отбиралось от 4 до 5 проб с интервалом 7–15 минут. Концентрация метана в отборных пробах воздуха анализировалась на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл 5000.2».

На основе полученных значений для каждой из исследуемых площадок были рассчитаны модели потоков CO₂. Модель включает расчет основных элементов углеродного цикла экосистемы: валовой первичной продукции – количество CO₂ поглощенное исследуемым биотопом; дыхания экосистемы – количество CO₂ выделенное в атмосферу в результате минерализации торфа, дыхания растений и микроорганизмов; и нетто-экосистемного обмена – баланс между поглощенным и выделенным CO₂ исследуемой экосистемой (биотопом) [4]. Моделирование потоков CO₂ проводилось в программной среде R[®] с использованием пакетов «Flux» и пакета для автоматического моделирования потоков CO₂. В данной модели атмосфера бралась за точку отсчета, поток CO₂ из экосистемы в атмосферу принимался положительным, а поглощение CO₂ экосистемой определялось как отрицательный поток. Таким образом, экосистема являлась источником углекислого газа, если суммарное значение нетто-экосистемного обмена за сезон наблюдения определялось как положительное число. Модель годовой динамики потоков CH₄ и N₂O рассчитывалась на основе линейной интерполяции между измерительными кампаниями.

Результаты и их обсуждения

С целью мониторинга погодных и климатических факторов вблизи изучаемых площадок в ноябре 2013 г. были установлены две автономных метеорологических станции и колодцы для измерения уровня грунтовых вод (УГВ). В течение 2014 г. проводились работы по поддержанию работоспособности метеостанций, а также сбор и анализ данных мониторинга климатических и водно-физических условий на изучаемых биотопах.

УГВ измерялся двумя способами: автоматически, с помощью измерительной системы (Schlumberger Mini-Diver WL [5]) и вручную, измеряя расстояние от поверхности торфа до уровня воды в колодце во время измерительных кампаний парниковых газов. На данном этапе использовались лишь результаты дискретных ручных измерений. Среднегодовой уровень грунтовых вод на площадке T1 составил –49 см от поверхности почвы, на площадке P1, как и на расположенной рядом площадке P2, среднегодовой УГВ составил –19,3 см от поверхности почвы. Годовая динамика УГВ на площадках P1, P2 и T1 приведены на рис. 1.

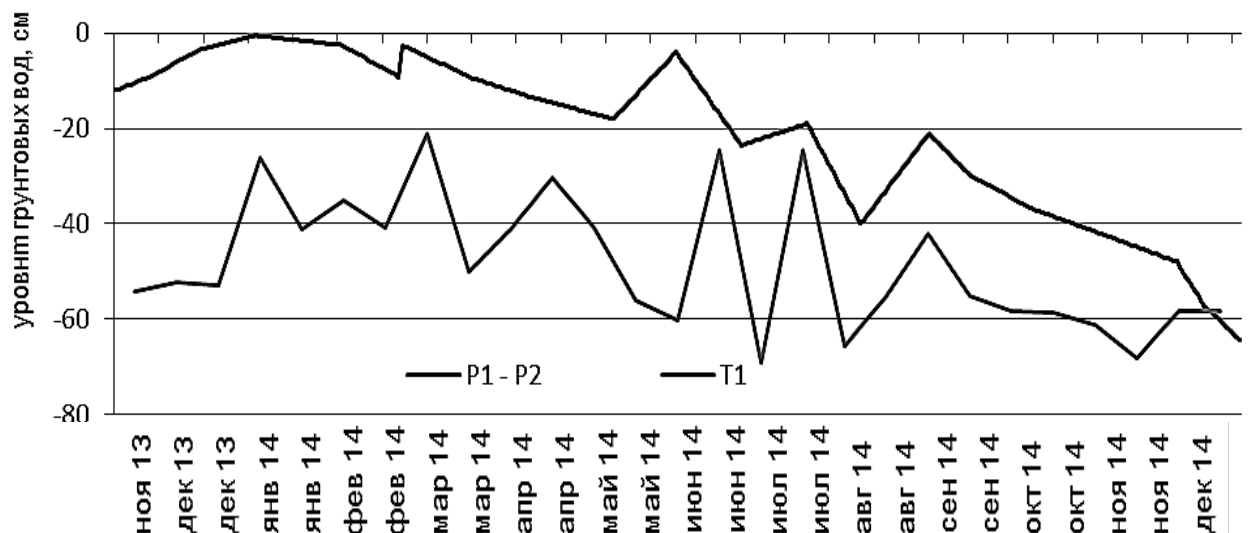


Рисунок 1 – Изменение уровня грунтовых вод на площадках P1 и P2 с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Одним из наблюдаемых параметров на исследуемых площадках являлась интенсивность фотосинтетической активной радиации (ФАР) солнечного излучения, которая измерялась с помощью дат-

чика SKP-215 (Skye Instruments Ltd, UK) на протяжении всего периода исследований. Годовая динамика ФАР в дальнейшем использовалась для моделирования потоков валовой первичной продукции (поглощения CO_2 экосистемой). Динамика интенсивности ФАР солнечного излучения для всех трех площадок была очень схожей, и соответствует естественному годовому циклу солнечной радиации. Максимальная среднесуточная интенсивность ФАР солнечного излучения наблюдалась в летний период, достигая $690\text{--}680 \mu\text{моль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ в июне на площадках P1-P2 и $670\text{--}680 \mu\text{моль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ на площадке T1 (рис. 2, 3). Минимальные значения ФАР наблюдались в период с ноября по декабрь.

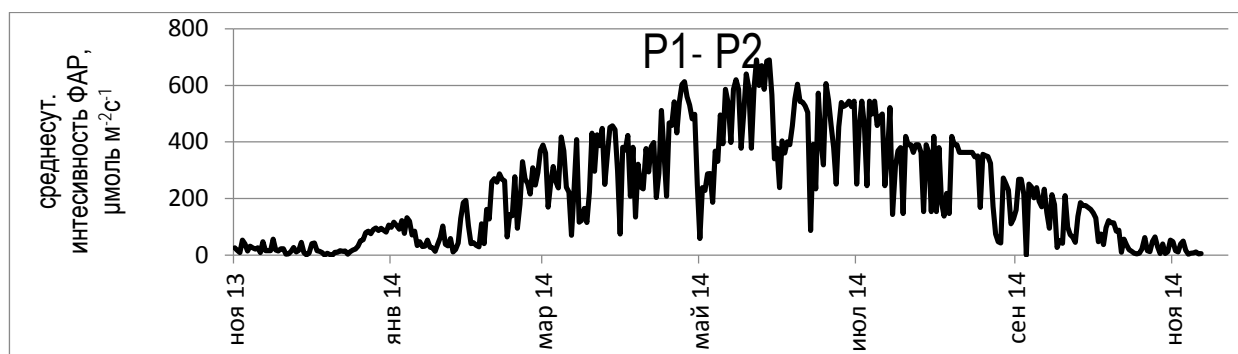


Рисунок 2 – Годовая динамика интенсивности фотосинтетической активной радиации (ФАР) солнечного излучения (площадки P1–P2)

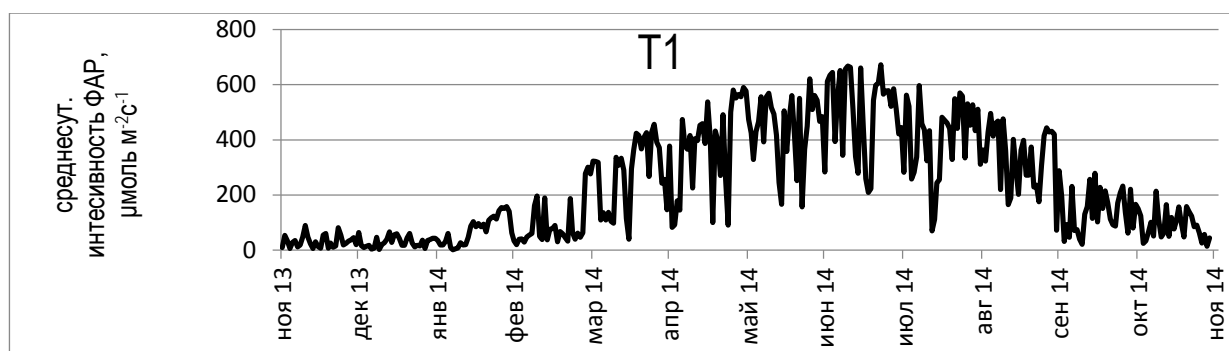


Рисунок 3 – Годовая динамика интенсивности фотосинтетической активной радиации (ФАР) солнечного излучения (площадка T1)

Одним из наиболее важных климатических параметров, который измерялся метеорологическими станциями, являлась температура воздуха и почвы. Суточная и сезонная динамика почвы и воздуха является фактором, который определяет интенсивность выделения CO_2 экосистемой (Reco), в результате дыхания растений, почвенных микроорганизмов и минерализации сухой торфяной залежи [6]. Измерения температуры воздуха (на высоте 20 см от поверхности почвы) и температуры почвы (на глубинах 2 см, 5 см и 10 см) проводились автоматически каждые 30 минут. Результаты мониторинга температуры воздуха и почвы представлены на рис. 4–5.

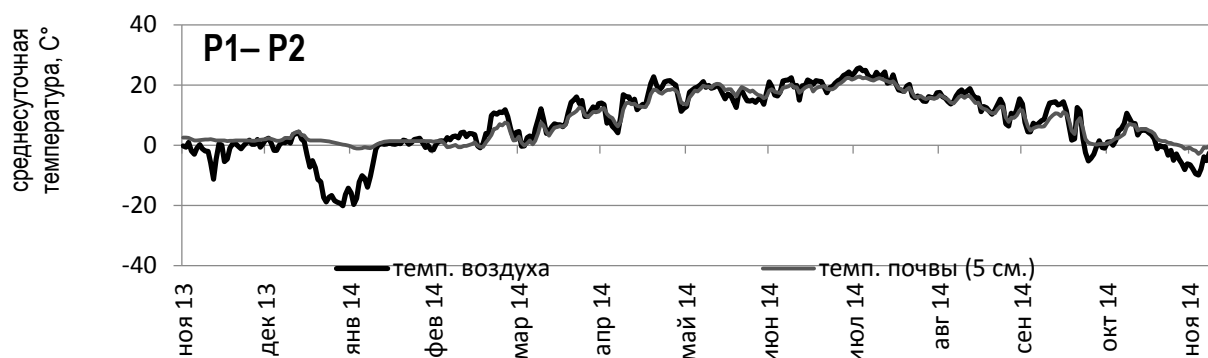


Рисунок 4 – Годовая динамика температуры воздуха и почвы (глубина 5 см) на площадках P1–P2

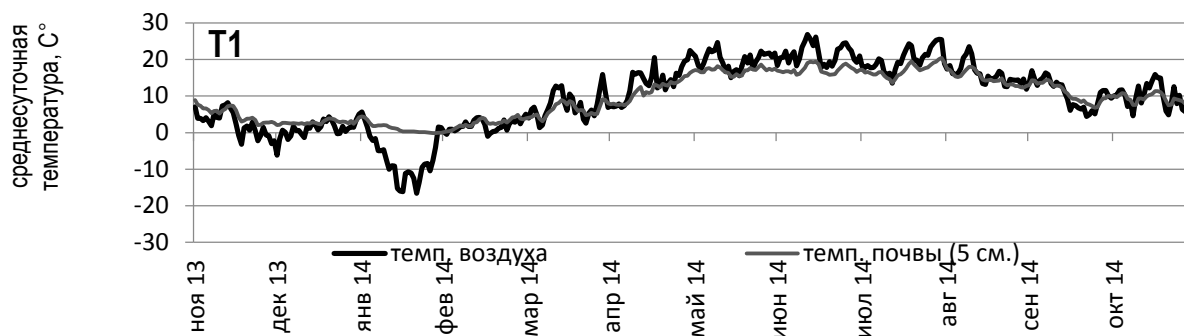


Рисунок 5 – Годовая динамика температуры воздуха и почвы (глубина 5 см) на площадке T1

Результаты мониторинга ПГ на площадке P1 показали, что исследуемый биотоп являлся чистым источником CO₂. Динамика потоков CO₂ представлена на рис. 6 показывает изменения суточных потоков ДЭ, ВПП и НЭО в течение периода измерений с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.



Рисунок 6 – Модель динамики потоков CO₂ для площадки P1 в течение периода мониторинга с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Как видно из рис. 6, быстрый рост ДЭ продолжался с апреля по август 2014 г., причинами этого служит увеличение среднесуточной температуры воздуха и почвы, что способствовало ускорению минерализации торфа, а также падение уровня грунтовых вод, что увеличивало зону аэрации торфяной залежи. Максимальное значение ДЭ в 3,48 г (CO₂-C)/м²/день наблюдалось в августе 2014 г., когда оба основных фактора (температура и УГВ) способствовали максимально возможной минерализации торфа. Поглощение углерода растительностью (линия ВПП ниже нуля) наблюдалось лишь в период, когда исследуемые площадки (P1) были свободны от снежного покрова, с марта по ноябрь 2014 г. Максимальное суточное поглощение CO₂ составило -1,52 г (CO₂-C)/м²/день в июне 2014, после чего ВПП начало снижаться до ноября 2014 г. Увеличение ВПП в начале вегетативного сезона было связано с развитием роста растительности и увеличением интенсивности ФАР солнечного излучения, дальнейшее сокращение ВПП после июня объясняется падением УГВ, что оказало угнетающее воздействие на растительный покров и, следовательно, сокращение поглощения CO₂. В результате вышеописанных условий, общий суточный баланс CO₂ (линия НЭО) почти весь период измерений, за исключением нескольких дней в апреле 2014 г., находился в положительной области. Максимальное суточное значение НЭО в 2,97 г (CO₂-C)/м²/день наблюдалось в августе 2014, после чего эмиссия CO₂ постепенно снижалась к концу года.

Поглощение CO₂ растительным покровом (*Polytrichum commune*) на данном биотопе за период с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г. составило -150,09±6,84 г (CO₂-C)/м²/год. За тот же период, выделения CO₂ в результате дыхания экосистемы составило 529,53±23,25 г (CO₂-C)/м²/год, что значительно превышает количество поглощённого CO₂ экосистемой. Общий баланс потоков CO₂ для площадки P1 равен 379,46±23,75 г (CO₂-C)/м²/год или 13,91±0,87 т/га²/год, что указывает на то что данный биотоп являлся чистым источником CO₂ для атмосферы.

Как уже указывалась выше, ДЭ формируется двумя потоками выделения CO₂ – это дыхание растительности и дыхание микроорганизмов, которые участвуют в деструкции торфяной залежи. Многие исследования указывают, что дыхание растительности составляет от 50 % до 100 % от коли-

чества углерода, поглощенного растительным покровом (ВПП). На основе этого соотношения можно оценить вклад дыхания растительности в общее ДЭ для данного биотопа в примерно 75–150 г (CO₂–C)/м²/год. Таким образом, вычитая это значение из ДЭ можно примерно оценить выделение CO₂ от дыхания микроорганизмов, то есть от минерализации торфяной залежи, которые составляет 379–454 г (CO₂–C)/м²/год.

На рис. 7 представлена динамика кумулятивного НЭО CO₂ для площадки P1. С помощью этого графика можно оценить баланс CO₂ за любой временной отрезок в течение проведения измерений потоков CO₂ начиная с ноября 2013 г.

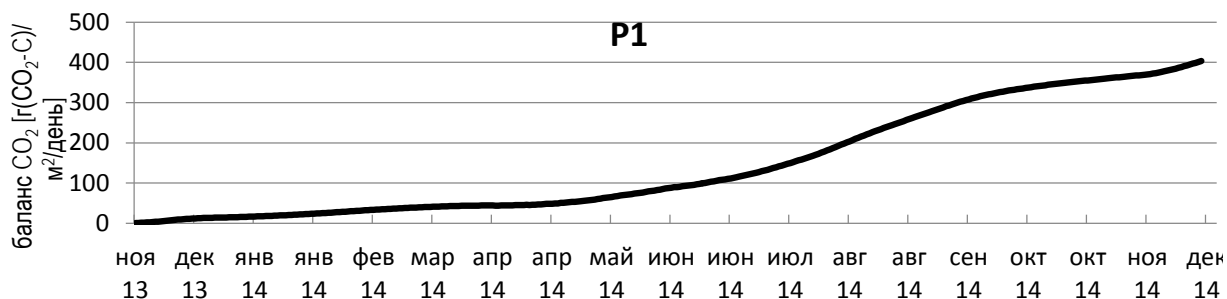


Рисунок 7 – Модель динамики кумулятивного нетто-экосистемного обмена (НЭО кумулятивный) для площадки P1 с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Результаты моделирования потоков CO₂ для площадки P2 были схожими с площадкой P1. Это объясняется идентичными климатическими условиями, динамикой УГВ и схожей торфяной залежью (осушенный верховой торф) между площадками. Единственным существенным различием между площадками P1 и P2, являлась наличие *Calluna vulgaris* в растительном покрове площадки P2, что оказало воздействие на ВПП, ДЭ и НЭО.

Общий тренд динамика потоков CO₂ на площадке P2 совпадает с площадкой P1, где наибольшие суточные значения ДЭ и ВПП наблюдались в летний период с апреля по октябрь 2014г. и низкие суточные потоки CO₂ в зимние месяцы (рис. 8).

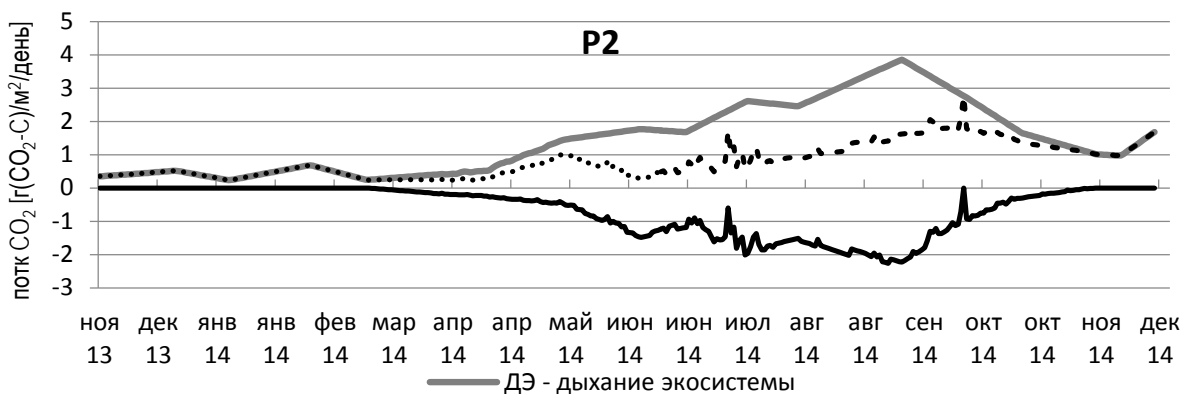


Рисунок 8 – Модель динамики потоков CO₂ для площадки P2 в течение периода мониторинга с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

На рис. 8 видно, что активное поглощение CO₂ (линия ВПП) растительность площадки P2 наблюдалось с марта по октябрь 2014 г. Максимальное суточное поглощение CO₂ составило –2,27 г (CO₂–C)/м²/день в сентябре 2014 г. В отличие от площадки P1, где падение УГВ осенью 2014 г. оказало угнетающее воздействие на растительность, на площадке P2, где доминирует *Calluna vulgaris*, этого воздействия не наблюдалось. Максимальные суточные потоки ДЭ наблюдались в августе-сентябре 2014 г. и достигали значений в 3,83 г (CO₂–C)/м²/день. Суточный НЭО баланс оставался положительным на протяжении всего периода измерений, что указывает на то, что исследуемый биотоп был источником CO₂.

Годовое значение потока ВПП для площадки P2 составило –240,33 г (CO₂–C)/м²/год. При сравнении годовых значений на площадке видно, что наличие на площадке P2 *Calluna vulgaris* способствовало более интенсивному поглощению CO₂ экосистемой. Годовое значение ДЭ составило 530,61 г (CO₂–C)/м²/год, что практически совпадает с оценками ДЭ для площадки P1. Общий годовой нетто-

экосистемный баланс CO_2 для площадки P2 за год измерений составил $290,28 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$. Таким образом, эмиссия CO_2 с площадки P2 была на $89,18 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$ ниже, чем на площадке P1. Возможным объяснением этого может служить прирост биомассы *Calluna vulgris*, который является многолетним вечнозеленым растением. Другими повлиявшими факторами могут являться отличия в микротопографии между площадками P1, P2 и различия в прогревании верхнего слоя торфа (т. к. *Calluna vulgris* препятствует проникновению солнечного света).

Оценка эмиссии от минерализации торфа, с помощью подходов аналогично площадке P1, составила $290\text{--}410 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$. Динамика кумулятивного нетто-экосистемного обмена CO_2 для площадки P2 представлена на рис. 9.

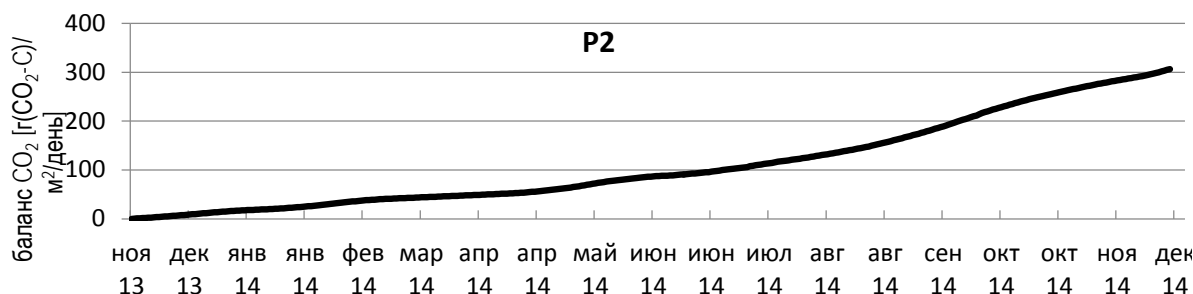


Рисунок 9 – Модель динамики кумулятивного нетто-экосистемного обмена (НЭО кумулятивный) для площадки P2 с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Результаты оценки потоков CO_2 для площадки T1 были существенно выше, чем аналогичные на площадках P1 и P2. Результаты моделирования динамики суточных потоков CO_2 для площадки T1 приведена на рис. 10.

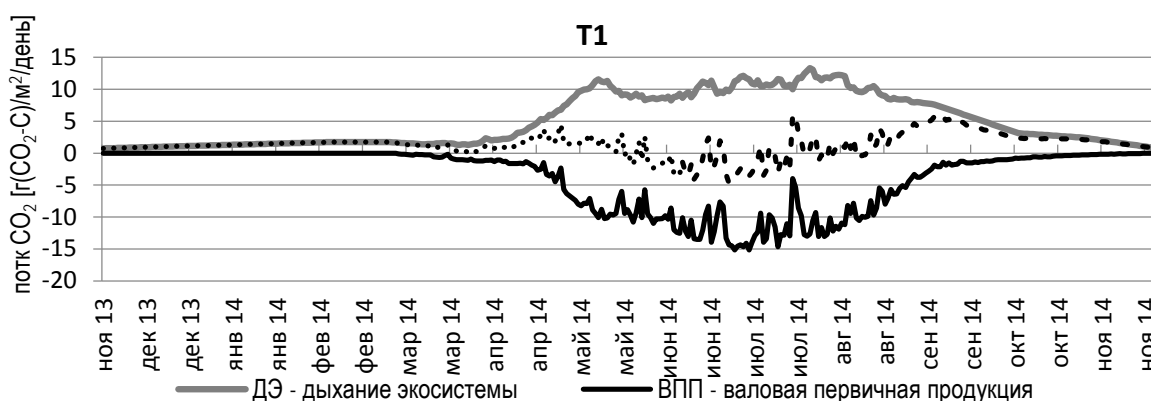


Рисунок 10 – Модель динамики потоков CO_2 для площадки T1 в течение периода мониторинга с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г.

Так же, как и на площадках P1 и P2, максимальные значения ДЭ и ВПП наблюдались в летний период. Поглощение CO_2 (линия ВПП) начало интенсивно возрастать в апреле 2014 г., достигнув максимального значения в $-15,41 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{день}$ в июле 2014 г., и затем плавно уменьшилось к сентябрю 2014 г. Наблюдаемая динамика ВПП соответствует росту луговой растительности, в первую очередь *Phleum pratense*, которая была высажена на площадке T1 в начале апреля 2014 г. После достижения пика роста, начался процесс постепенного старения и отмирания поверхностной части растений, что выразилось в сокращении поглощения CO_2 экосистемой. В конце сентября–октябре 2014 г., растительный покров на площадке T1 представлял собой сухостой.

Поток выделения CO_2 экосистемой обусловленный дыханием экосистемы (рис. 8 линия ДЭ), так же хорошо коррелирует с развитием растительности на площадке T1, быстро возрастая с апреля по май 2014 г. Это указывает на значительный вклад дыхания растений в общий поток CO_2 дыхания экосистемы. В период с мая по август суточные значения ДЭ соответствовали выделениям CO_2 от $8,68$ до $13,07 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{день}$.

Площадка T1 являлась единственной площадкой, где суточные значения нетто-экосистемного обмена CO_2 опускалась ниже нуля (линия НЭО), что указывает на то, что в данный период экосисте-

ма являлась поглотителем CO_2 . Минимальное суточное значение НЭО за период мониторинга потоков CO_2 составило $-4,29 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{день}$, максимальное суточное значение НЭО $5,99 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{день}$. Годовой нетто-экосистемный обмен CO_2 для площадки Т1 составил $464,46 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$. Оценка эмиссии CO_2 от минерализации торфа составляет примерно $464,46\text{--}1146,86 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$ (рис. 11).

В отличие от площадок Р1 и Р2 динамики кумулятивного нетто-экосистемного обмена CO_2 для площадки имеет период когда кумулятивный НЭО сокращался в период с конца мая по середину июля 2014 г. (рис. 11), т. к. в указанный период площадка Т1 являлась чистым поглотителем CO_2 из атмосферы. Сокращение кумулятивного НЭО составило порядка $100 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$. Весь оставшийся период измерений НЭО кумулятивный возрастал, другими словами площадка Т1 была источником CO_2 для атмосферы.

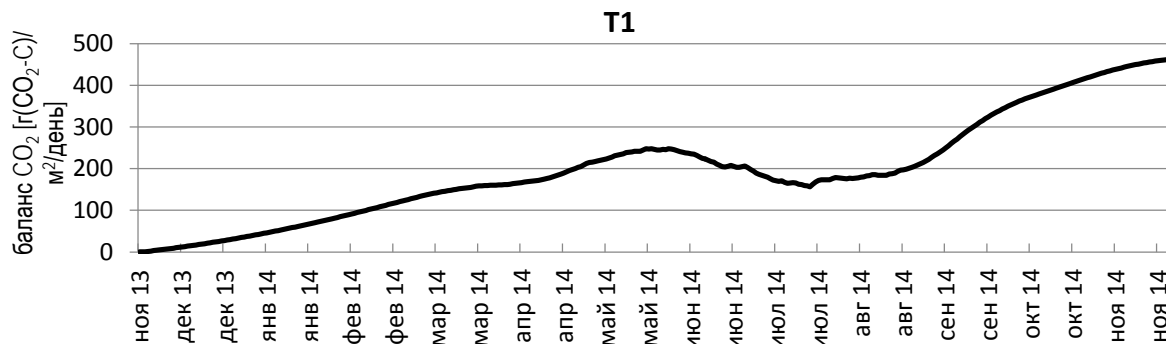


Рисунок 11 – Модель динамики кумулятивного нетто-экосистемного обмена (НЭО кумулятивный) для площадки Т1 с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Результаты мониторинга потоков CO_2 на площадках Р1, Р2 и Т1 подтвердили, что исследуемые биотопы нарушенных торфяников являлись чистыми источниками CO_2 .

Ниже приведены результаты моделирования годовой динамики эмиссии CH_4 и N_2O . Точкой на графике указан средний измеренный поток CH_4 или N_2O на одной площадке, вертикальные планки указывают стандартное отклонение от среднего потока, и линий соединяющие точки указывают на предполагаемые значения эмиссии CH_4 или N_2O для временных интервалов, когда измерения потоков не проводились (рис. 12–17).

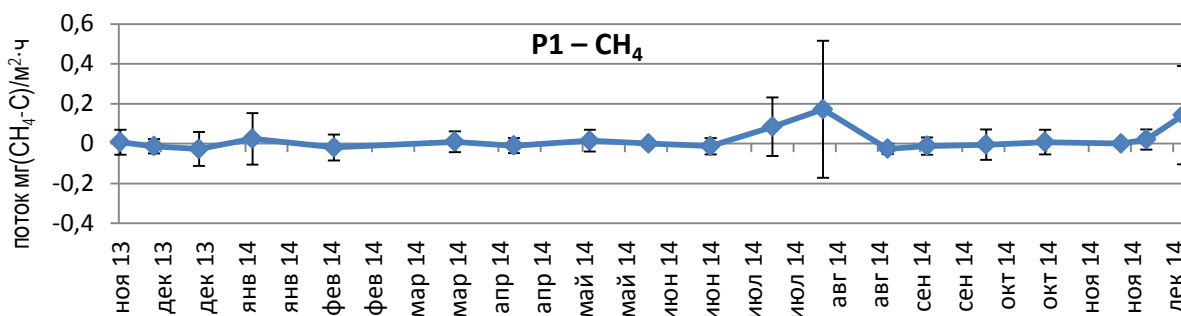


Рисунок 12 – Модель динамики эмиссии метана для площадки Р1 в период с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

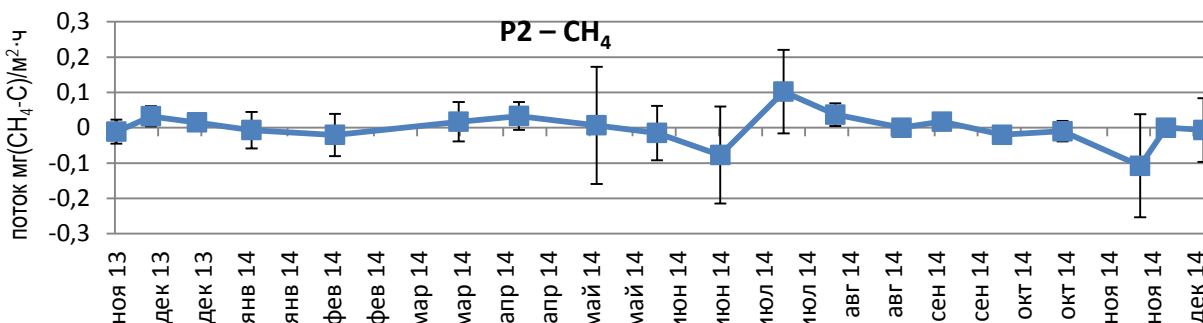


Рисунок 13 – Модель динамики эмиссии метана для площадки Р2 в период с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

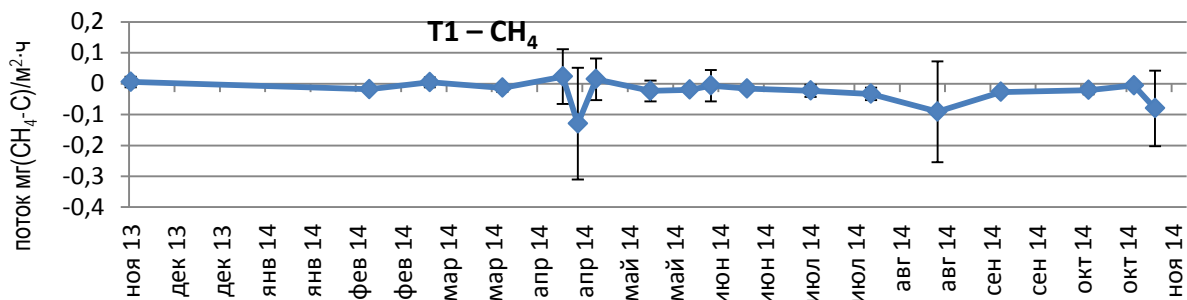


Рисунок 14 – Модель динамики эмиссии метана для площадки P1 в период с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г.

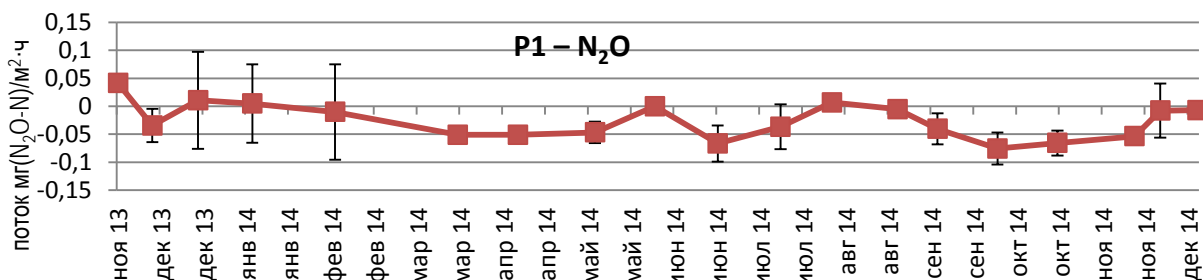


Рисунок 15 – Модель динамики эмиссии закиси азота для площадки P1 в период с ноября 2013г. по декабрь 2014 г.

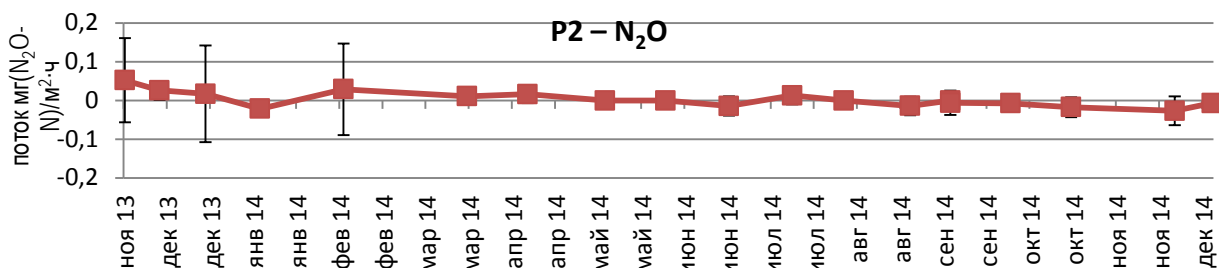


Рисунок 16 – Модель динамики эмиссии закиси азота для площадки P2 в период с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

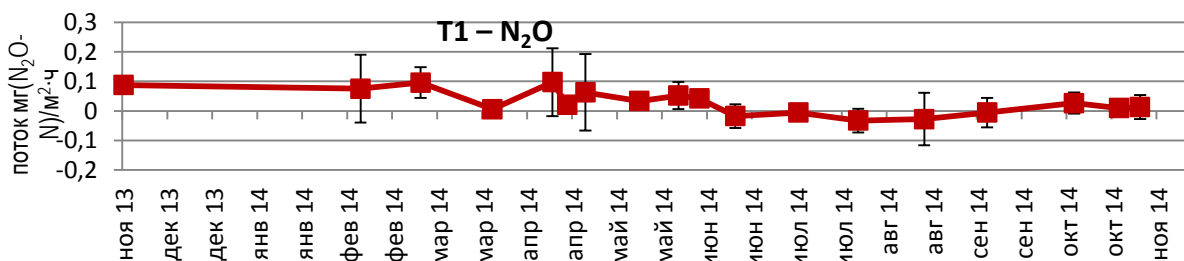


Рисунок 17 – Модель динамики эмиссии закиси азота для площадки T1 в период с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

В течение всего периода мониторинга эмиссии ПГ (с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г.) изомерные потоки CH₄ на площадках P1, P2 и T1 варьировали в пределах от -0,13 до 0,18 мг (CH₄-C)/м²·ч. Такие низкие значения эмиссия CH₄ близки к пределу возможностей измерения потоков CH₄ с помощью используемой методики закрытых камер. Результаты моделирования годовой эмиссии метана получились близкими к нулю. Полученные результаты подтверждают, что нарушенные торфяники не являются источником CH₄.

Несмотря на то, что нарушенные торфяники часто являются сильным источником N₂O, измерения на площадках P1, P2 и T1 не выявили высоких эмиссий этого парникового газа. Измеренные потоки N₂O варьировали от -0,75 до 0,97 мг(N₂O-N)/м²·ч. Аналогично как и с потоками CH₄ измеренные потоки N₂O были близки к пределу возможности измерения с помощью используемой методики закрытых камер. Единственным исключением можно считать площадку T1, где относительно площадок P1 и P2 потоки N₂O были выше.

На исследуемых площадках, полученные данные эмиссии метана не значительны, поэтому их можно приравнять к нулю. Полученные данные можно обосновать тем, что данные площадки подверглись воздействию со стороны человека. В результате осушения торф стал более насыщен кисло-

родом на большой глубине, доминирование окисления метана превратило территорию торфяника в незначительные стоки атмосферного метана.

На площадке Т1 наблюдались самые высокие эмиссии закиси азота, так как данная площадка является осушенным сельскохозяйственным торфяником. Полученные данные можно обосновать тем, что формирование N_2O происходит только когда становится доступным неорганический азот, такой, как аммоний или нитрат, через минерализацию торфа, внесение удобрений или через депонирование азота. При дефиците N торфяники (P1 и P2) выступают в качестве и стоков N_2O , поскольку микроорганизмы могут использовать N_2O как субстрат для образования N_2 во время денитрификации.

Выводы

Результаты мониторинга парниковых газов показали, что исследуемые площадки являются стоками метана и закиси азота и чистыми источниками углекислого газа. Это подтверждается полученными значениями эмиссии парниковых газов с исследуемых площадок.

На площадке Т1 наблюдались наибольшие значения эмиссии CO_2 , которая составила $17,03 \pm 0,98$ т/га²/год, на площадке P1 – $13,91 \pm 0,87$ т/га²/год. На площадке P2 наблюдались наименьшие значения эмиссии CO_2 – $10,64 \pm 1,10$ т/га²/год.

На площадке Т1 наблюдались наибольшие потоки закиси азота и составили 1,90 т (экв – CO_2)/га/год, для площадки P2 – 0,12 т (экв – CO_2)/га/год. Площадка P1 являлась стоком закиси азота, с эмиссией равной –1,25 т (экв – CO_2)/га/год.

Площадка Т1 являлась стоком метана, с эмиссией равной –0,40 т (экв – CO_2)/га/год, источником метана являлась площадка P1 – 0,04 т (экв – CO_2)/га/год, на площадке P2 эмиссии метана не наблюдалось – 0,00 т (экв – CO_2)/га/год.

Полученные результаты обосновываются тем, что площадка Т1 располагалась на осушенном сельскохозяйственном торфянике, а площадки P1 и P2 на верховом болоте с нарушенным гидрологическим режимом.

Установлена зависимость ПГ от влажности почвы, уровня стояния грунтовых вод, глубины торфяной залежи, температуры воздуха и почвы, вида возделываемых культур.

Исследуемые болота Копыш и Червень-2 представляют собой типы экосистем, которые практически не изучены с точки зрения баланса углерода и потоков парниковых газов. Данные о годовых эмиссиях парниковых газов с нарушенных верховых болот необходимо включить в существующую систему методов измерения, отчетности и проверки балансов парниковых газов для торфяников.

Список литературы

1. Швиль, Ш. Выбросы парниковых газов из болот. Методика оценки климатической значимости на примере болота Целау / Ш. Швиль, А. Хаберль, А. Штраус. – Грейфсвальд, 2010. – С. 4 – 6.
2. Степанов, А. Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах / А. Л. Степанов. – Москва, 2011. – С. 4
3. Августин, Ю. Углеродные кредиты и заболачивание деградированных торфяников: климат-биоразнообразие-землепользование / Ю. Августин, Дж. Коувенберг, М. Минке; под ред. Ф. Таннебергер, В. Вихтманн. – Stuttgart, 2011. – С.13 – 21.
4. Van Essen Instruments. All rights reserved / Product manual. Diver. – Giesbeek, The Netherlands, 2016. – 26 с.
5. Околелова, А. А. Особенности эмиссии диоксида углерода в зависимости от природно-климатических условий / А. А. Околелова, Нгуен Тхинь Ван. – Волгоград, 2011. – С. 4.
6. Бурло, А. В. Суточная динамика и баланс углекислого газа на осушенном и естественном низинном болотах / А. В. Бурло, А. А. Чувашова, И. П. Наркевич. – Минск, 2013 – С. 8.

V. M. Kankova, A. V. Burlo, I. P. Narkevitch

GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN BREST AND MINSK REGIONS FROM THE PEATLANDS

The article presents results of the yearly monitoring of carbon dioxide fluxes, nitrous oxide and methane fluxes from peat soils. The study shows set greenhouse gas dependence on soil moisture, groundwater level state, the depth of the peat deposit, air and soil temperature, type of crops.

О. М. Храмченкова, Д. Н. Дроздов, Р. И. Новиков, А. М. Савченко

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

ЗАВИСИМОСТЬ НАСЕЛЕННОСТИ СТВОЛА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ЛИШАЙНИКОМ *HYPOGYMNIA PHYSODES* (L.) NYL. ОТ ТИПА ЛЕСА, ВОЗРАСТА ДРЕВОСТОЯ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА КОРЫ

Для сосновых лесов юго-восточного Полесья установлен вид и параметры регрессионных зависимостей массы лишайника *Hypogymnia physodes* от величины проективного покрытия на высоте ствола сосны 90–130 см. Установлено, что тип леса и возраст насаждений обуславливают соответственно 7 % и 9 % величины вариации населенности лишайником стволов сосен. Показано, что прирост биомассы *Hypogymnia physodes* на стволах сосен наблюдается в возрасте жердняков, населенность стволов снижается к возрасту приспевающих лесов, возрастает в спелых, и снижается до нулевой отметки в перестойных, вне зависимости от типа леса. Такая динамика достоверно связана с содержанием марганца в верхнем слое коры зны соснового ствола, где обитает лишайник.

➤ **Ключевые слова:** сосновые насаждения, типы леса, классы и группы возрастов, кора сосны, *Hypogymnia physodes*, проективное покрытие, масса слоевищ, элементный состав коры.

Введение

В лесах Беларуси наиболее распространенными видами, образующими общий фон лишайниковой группировки на сосне (*Pinus sylvestris* L.), являются *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Evernia prunastri* (L.) Ach. и *Ramalina farinacea* (L.) Ach., обитающие в верхней части, *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. и *Parmelia sulcata* Taylor в нижней части ствола. Виды рода *Cladonia*, а также *Hypocenomyce scalaris* (Ach.) M. Choisy, *Parmeliopsis ambigua* Nyl., *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale, *Platismatia glauca* (L.) Culb. & C. Culb., *Parmeliopsis* spp., *Pertusaria* spp., *Lecanora* spp. обычно поселяются на корневых лапах или прилегающих к ним участках ствола [1–3]. На стволах и ветвях сосен во всех климатических зонах доминирует *Hypogymnia physodes*. В северных бореальных лесах высока частота встречаемости некоторых других листоватых и кустистых видов, например, *Parmeliopsis ambigua* и *Platismatia glauca* [4–6].

Нами выполнена оценка запаса *Hypogymnia physodes* в сосновых лесах юго-восточного Полесья, получены зависимости удельной массы слоевищ от величины проективного покрытия [3, 7–9], однако причины широкой вариабельности населенности стволов сосны лишайником не установлены. Целью настоящей работы являлся поиск зависимости населенности ствола сосны обыкновенной лишайником *Hypogymnia physodes* от некоторых свойств субстрата, обусловленных типом леса, возрастом насаждений и элементным составом верхнего слоя коры.

Методы исследований

Исследования населенности ствола сосны обыкновенной лишайником гипогимнией вздутой проводили на территории ГЛХУ «Гомельский лесхоз» в чистых сосновых насаждениях I–VII классов возраста, охватывающих весь типологический ряд: от лишайниковых до осоково-сфагновых сосняков. Здесь и далее используются следующие обозначения типов сосновых лесов: ЛШ – лишайниковый, ВЕР – вересковый, БР – брусничный, МШ – мшистый, ОР – орляковый, ЧЕР – черничный, КИС – кисличный, ПР-ТР – приручейно-травяной, ДМ – долгомошный, БАГ – багульниковый, ОС – осоковый, ОС-СФ – осоково-сфагновый. Для оценки минерального состава коры сосны пробные площади закладывали в насаждениях, охватывающих следующий гигрогенный ряд: свежие (МШ и ОР), влажные (ЧЕР и КИС) и сырые (ПР-ТР и ДМ). Для каждого типа леса закладывали 4 группы пробных площадей по группам возрастов: молодняки – II класс возраста¹ (21–40 лет), средневозрастные леса – III и IV классы (41–80 лет), приспевающие – V класс (81–100 лет), спелые – VI и VII (101–140 лет) [10]. Определение типов леса проводили по И. Д. Юркевичу [11]. Таксационные описания были предоставлены Республиканским дочерним лесоустроительным предприятием «Гомельлеспроект». Все исследования проводились на выделах, не содержащих рудеральной растительности и с выраженным напочвенным покровом.

¹ Исследования проводились в жердняках, так как в них уже произошло смыкание древостоя, установился лесной микроклимат, сформировалась лесная подстилка и напочвенный покров [10].

На каждой пробной площади выбирали 10 наиболее типичных деревьев для отбора проб лишайника и сосновой коры. Перед отбором учетную площадку – ствол сосны на высоте 1,3 м – фотографировали с двух сторон. С экспозиции ствола сосны с максимальным проективным покрытием лишайника на участке площадью 0,12 м² (30×40 см) на высоте 1,3 м срезали слоевища лишайников вместе с субстратом, а также отбирали пробы верхнего слоя коры на глубину 0,5 см. Глубина отбора коры обеспечивает характеристику субстрата существования эпифитных лишайников, а также зоны влияния капельно-жидкой воды, прошедшей сквозь крону и стекающей по стволу в виде раствора, содержащего дождевые выщелачивания из кроны и вышележащей коры данного дерева.

Проективное покрытие лишайника (в процентах) определяли программным путем, на основании фотоснимков каждого обследованного дерева с использованием программного продукта Check-Mossv.1.0. Слоевища отделяли от коры, высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего – взвешивали. Полученные результаты использовали для определения массы лишайника, соответствующей одному проценту проективного покрытия. Пробы коры высушивали, озоляли, после чего методом атомно-абсорбционной спектрометрии определяли содержание Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn и Zn. Полученные данные пересчитывали на слой поверхности ствола сосны, соответствующий зоне отбора проб: ширина – 40 см, высота от комля – 130 см, глубина – 0,5 см, принимая в качестве допущения соответствие исследуемого участка ствола цилиндру. Такой подход позволяет учитывать диаметры стволов, отличающиеся в зависимости от типа лесорастительных условий и класса бонитета насаждений. Данные обрабатывали с использованием стандартного программного продукта Статистика 7.0.

Результаты и их обсуждение

Связь массы лишайника *Hypogymnia physodes* на поверхности анализируемого слоя коры сосны (у, г) с величиной проективного покрытия слоевищ (х, %) для разных типов сосновых лесов (кроме долгомошного), удовлетворительно описывается уравнениями линейной регрессии $y = ax + b$, параметры которых приведены в табл. 1.

Таблица 1
Вид зависимостей массы лишайника *Hypogymnia physodes* от величины проективного покрытия на высоте 1,3 м ствола сосны

Тип леса	Угловой коэффициент <i>a</i>	Свободный коэффициент <i>b</i>	Коэффициент регрессии R ²
ДМ	2,21	3,51	0,01 (p > 0,05)
ОС-СФ	9,32	0,02	0,89 (p < 0,05)
МШ	9,36	2,28	0,20 (p < 0,01)
ОС	10,4	0,67	0,63 (p < 0,01)
БР	10,56	0,75	0,69 (p < 0,01)
ВЕР	15,81	0,05	0,85 (p < 0,01)
БАГ	18,79	0,24	0,78 (p < 0,01)
ОР	19,39	0,86	0,67 (p < 0,01)
ЧЕР	20,81	0,96	0,32 (p < 0,01)
ПР-ТР	32,51	0,16	0,96 (p < 0,01)

Из таблицы видно, что интенсивность нарастания массы лишайника на единицу его проективного покрытия на стволе сосны в разных типах леса различна: высокая характерна для приручейно-травяного типа, средняя для группы из черничного, орлякового, багульникового и верескового типа и низкая для группы из брусничного, мшистого и осоково-сфагнового типа.

В работах [3, 8, 9] показано, что распределение величин проективного покрытия *Hypogymnia physodes* и удельных масс лишайника на стволе сосны по классам возраста в пределах близких по гигротопу типов леса не равномерно; одному проценту проективного покрытия лишайника соответствуют существенно отличающиеся массы слоевищ.

На рис. 1 представлена неоднородность распределения массы лишайника на стволе сосны по типам леса.

Наибольшая масса лишайника на поверхности анализируемого слоя сосновой коры характерны для лесов черничного, мшистого и орлякового типов, наименьшая – для лишайникового и кисличного типов. Не однородна и вариация изучаемого показателя: наибольшая степень варьирования характерна для приручейно-травяного, верескового и брусничного типов, наименьшая – для лишайникового и багульникового типов леса. В самых сухих и самых влажных типах сосняков стволы деревьев существенно меньше населены лишайником. То же можно сказать и о трофогенном ряде – сосны, произрастающие на наиболее

бедных почвах в сосняке лишайниковом и на наиболее богатых – в сосняке кисличном, примерно поровну населены *Hypogymnia physodes*. Методом однофакторного дисперсионного анализа установлено, что вариация населенности лишайником стволов сосен всего на 7 % обусловлена типом леса.

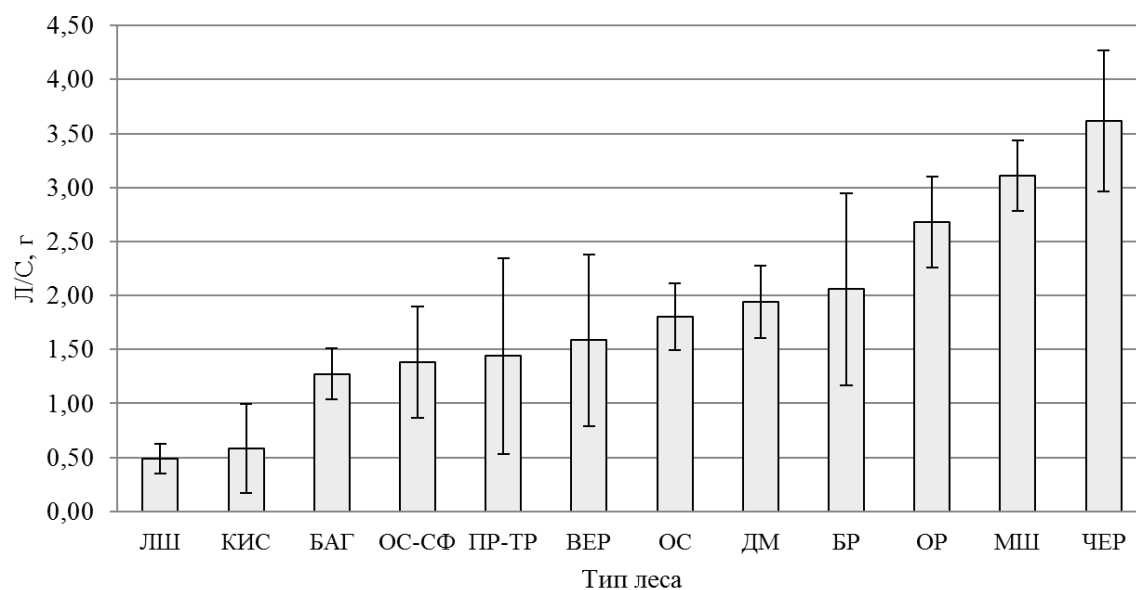


Рисунок 1 – Средняя масса лишайника *Hypogymnia physodes* на высоте 1,3 м ствола сосны в различных типах леса, г

Для близких по гигротопу типов леса ранее было показано, что проективное покрытие и удельная масса *Hypogymnia physodes* на стволе сосны линейно снижаются с увеличением класса возраста леса, достигая нулевых значений к VII классу возраста насаждений [3, 8, 9]. При объединении массивов данных по всем типам леса и использовании в расчетах фактических возрастов насаждений установлено, что масса лишайника на стволе сосны с возрастом дважды возрастает и снижается (рис. 2).

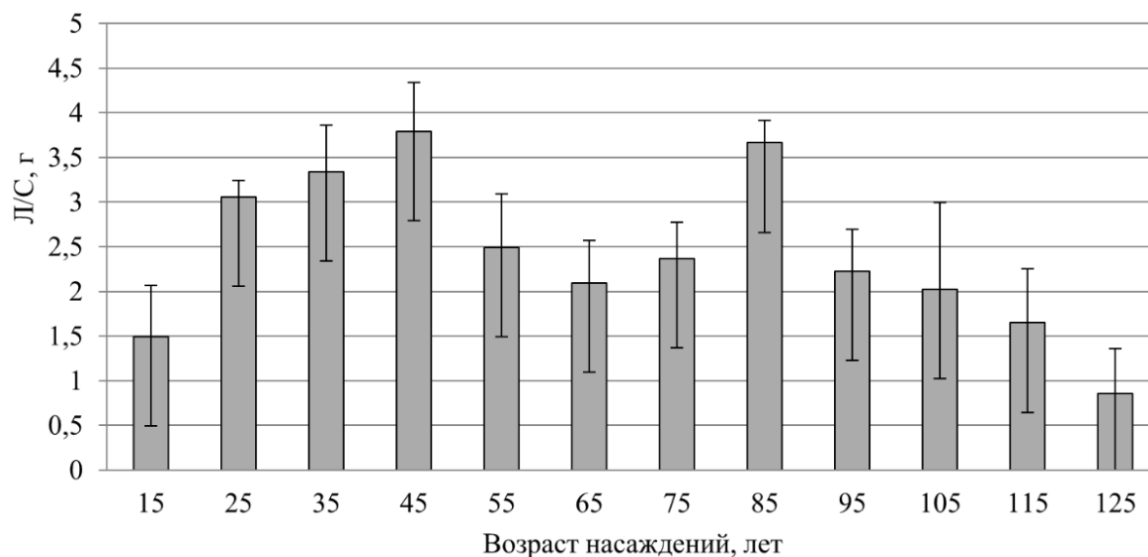


Рисунок 2 – Средняя масса лишайника *Hypogymnia physodes* на высоте 1,3 м ствола сосны в лесах различных возрастов, г

Прирост биомассы лишайника на соснах достигает максимума в возрасте жердняков, снижается к переходу из III в IV класс возраста, возрастает в приспевающих лесах, снижается к VII классу возраста, падает до нуля в перестойных лесах, вне зависимости от типа лесорастительных условий, полноты насаждений и класса бонитета. К настоящему времени в литературе нет убедительных данных, раскрывающих физиолого-экологический или лесоведческий механизм этого явления. Связана ли описанная нами возрастная динамика населенности лишайником ствола сосны с процессами есте-

ственного изреживания древостоев, развитием подроста и подлеска – сильно отличающихся в зависимости от лесорастительных условий – пока не установлено. Методом однофакторного дисперсионного анализа установлено, что возрастной фактор оказывает всего 9 % влияния на величину населенности лишайником стволов сосен.

Вариация показателя Л/С (населенность ствола сосны лишайником) определяется рядом факторов-признаков, которые позволяют произвести классификацию объектов отбора проб (деревьев) на группы, имеющие достоверное различие по набору классификационных признаков и величине Л/С. На рис. 3 представлены дендрограмма классификации проб и кривая слияния выборочных данных.

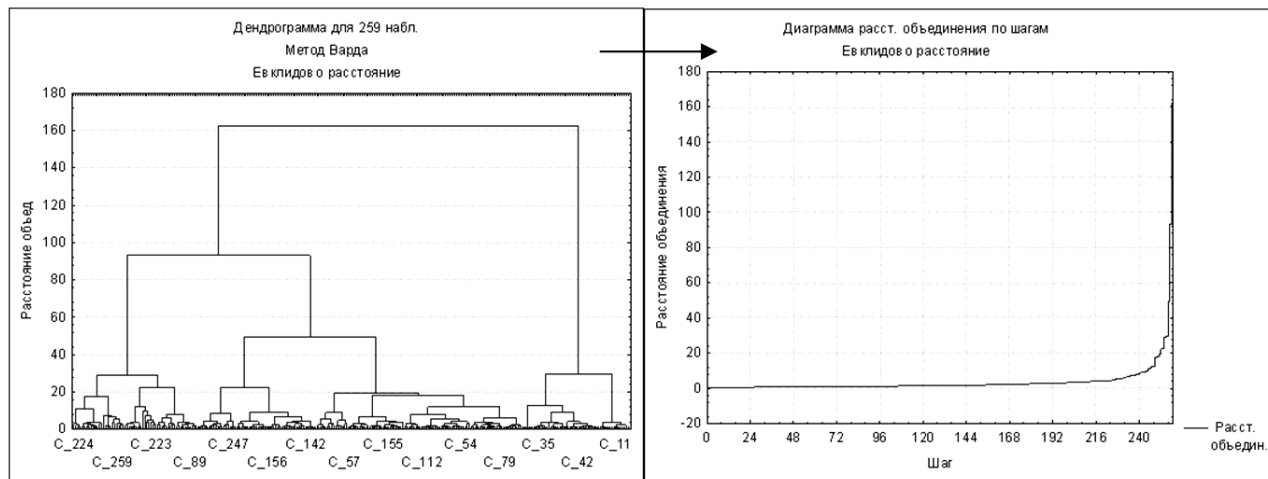


Рисунок 3 – Классификация объектов отбора проб методом Уорда

Из рис. 3 (справа) видно, что резкое изменение линии слияния находится между 256 и 259 шагом объединения, что говорит о том, что выборку можно разбить на три кластера. Таким образом, было установлено оптимальное количество групп, на которые можно распределить данные. Проверку адекватность деления выборки на кластеры выполнили k-методом средних, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средние показатели в выделенных кластерах

Кластер	Возраст деревьев, лет		Л/С, г	
	М	SD	М	SD
1	36,80±1,97	14,47	2,54±0,39	2,88
2	70,45±1,45	18,76	4,90±0,34	4,40
3	94,32±2,98	18,11	7,24±1,20	7,27

Из приведенных результатов видно, что каждый кластер имеет статистически достоверное различие как по среднему возрасту кластерной группы, так и по величине показателя Л/С ($p < 0,05$). Результаты кластерного анализа подтверждают наличие 3-х четко выраженных периодов в возрастной динамике показателя населенности ствола сосны лишайником (Л/С). Методом однофакторного дисперсионного анализа было оценено влияние возрастных периодов на показатель Л/С и установлено, что в данном случае возраст обуславливает 20 % вариации населенности ствола сосны лишайником. Результаты анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа влияния возраста деревьев на показатель Л/С

Вариации	SS	df	MS	Фрасч.	p	F крит.
Между кластерами	1556,43	15	99,23	5,52	4,3E-10	1,70
Внутри кластеров	6226,11	350	17,98			
Итого	7782,54	365				

Поскольку возраст позволяет объяснить не более 20 % вариации показателя населенности ствола сосны лишайником (Л/С), объяснение остальной доли вариации Л/С следует искать в других причинах. Мы выбрали показатель содержания Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn и Zn в 0,5 см слое сосновой коры на высоте ствола 1,3 м – табл. 4.

Среднее содержание элементов в коре сосны, мг/слой

Элемент	Кластер 1		Кластер 2		Кластер 3	
	М	SD	М	SD	М	SD
Кальций	66,12±4,08	29,96	143,42±3,36	43,52	182,08±7,77	47,27
Железо	4,50±0,43	3,15	8,63±0,25	3,21	17,68±1,27	7,75
Калий	3,81±0,22	1,64	7,85±0,15	1,98	13,02±0,73	4,43
Магний	2,37±0,13	0,97	3,82±0,06	0,83	6,44±0,27	1,63
Марганец	1,52±0,12	0,86	3,09±0,12	1,58	4,31±0,34	2,10
Цинк	0,25±0,02	0,11	0,45±0,01	0,13	0,72±0,04	0,22
Медь	0,04±0,01	0,02	0,08±0,01	0,02	0,12±0,01	0,03

Из таблицы видно, что с возрастом наблюдается статистически достоверное увеличение содержания каждого из элементов, относительно которого была выполнена оценка. Все кластеры достоверно различаются по величине содержания элементов на уровне значимости 0,05.

При поиске связи между населенностью ствола сосны лишайником (Л/С) и содержанием в 0,5 см слое коры Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn и Zn достоверная корреляционная связь обнаружена с содержанием марганца – табл. 5, возрастная динамика накопления которого, практически полностью совпадает с возрастной динамикой показателя Л/С – рис. 4.

Таблица 5

Результаты корреляционного анализа связи содержания элементов в коре сосны и показателем Л/С

Показатель	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
Л/С	0,3951	0,0854	0,4456	0,4251	0,2088	0,4333	0,7735
Достоверная вероятность	p = 0,162	p = 0,772	p = 0,110	p = 0,130	p = 0,474	p = 0,122	p = 0,001

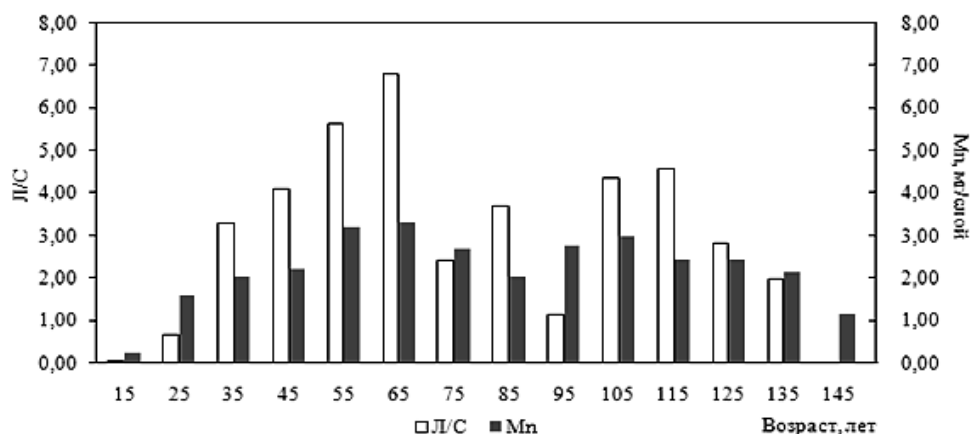


Рисунок 4 – Возрастная динамика содержания Mn в коре и населенности ствола сосны лишайником (Л/С)

Таким образом, установлено, что на протяжении жизни соснового древостоя выделяются 3 возрастных периода, примерно соответствующих I–III, IV–V и VI–VII классам возраста, когда населенность стволов лишайником *Hypogymnia physodes*, соответственно, возрастает, понижается, снова возрастает, после чего сходит до нуля к VIII классу возраста. Причем наблюдаемая нами динамика достоверно связана с динамикой содержания марганца в верхнем слое коры лишайник-обитаемой зоны соснового ствола.

Выводы

Для большинства типов сосновых лесов юго-восточного Полесья установлен вид регрессионных зависимостей массы лишайника *Hypogymnia physodes* на высоте ствола сосны 100–130 см от величины проективного покрытия. Методом дисперсионного анализа произведена оценка силы влияния факторов тип леса и возраст насаждений, которая показала, что тип леса обуславливает 7 %, а возраст насаждений 9 % величины вариации населенности лишайником стволов сосен. Прирост биомассы *Hypogymnia physodes* на стволах сосен наблюдается в возрасте жердняков, населенность стволов снижается к возрасту приспевающих лесов, возрастает в спелых, и снижается до нулевой отметки в перестойных, вне зависимости от типа лесорастительных условий, полноты насаждений и класса

бонитета. Такая динамика достоверно связана с содержанием марганца в верхнем слое коры лишайник-обитаемой зоны соснового ствола, причем характер зависимостей практически совпадает.

Список литературы

1. Горбач, Н. В. Об индикационной роли лишайников в лесных сообществах / Н. В. Горбач // Геоботанические исследования: сб. ст. / Институт экспериментальной ботаники АН БССР, Белорусское отделение всесоюзного ботанического общества; отв. ред. И. Д. Юркевич. – Минск, 1966. – С. 155–158.
2. Яцына, А. П. Структура эпифитных лишайниковых сообществ *Pinussylvestris* L. в Беларуси / А. П. Яцына // Веснік ВДУ. – 2013. – № 1. – С. 45–49.
3. Храменкова, О. М. Оценка запаса лишайника *Hypogymniaphysodes* (L.) Nyl. в сосновых лесах юго-востока Беларуси / О. М. Храменкова, А. Г. Цуриков, М. С. Лазарева // Экологический вестник, № 2(32). – 2015. – С. 95–100.
4. Marmor, L. Lichens on *Piceaabies* and *Pinussylvestris* – from tree bottom to the top / L. Marmor, T. Tõrra, L. Saag, E. Leppik, T. Randle // The Lichenologist. – 2013. – Vol. 45, № 1. – P. 51–63.
5. Marmor, L. Epiphytic lichen diversity in Estonian and Fennoscandian old coniferous forests/ L. Marmor, T. Tõrra, E. Leppik, L. Saag, T. Randle // Folia Cryptog. Estonica. – 2011. – Vol. 48. – P. 31–43.
6. Степанова, В. И. Эпифитный лишайниковый покров ели европейской (*Piceaabies* (L.)Karst) в еловых лесах южной Карелии: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.05, 03.00.16 / В. И. Степанова; ПетрГУ. – Санкт-Петербург, 2004. – 28 с.
7. Цуриков, А. Г. К эпиксильной лишенофлоре некоторых сосновых лесов Гомельской области / А. Г. Цуриков, О. М. Храменкова // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб.н.т. ИЛ НАН Беларуси. Выпуск 72. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2012. – С. 557–565.
8. Цуриков, А. Г. Распределение лишайника *Hypogymniaphysodes* в основных типах сосновой формации юго-востока Беларуси / А. Г. Цуриков, О. М. Храменкова // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2014. – Вып. 74: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 460–469.
9. Храменкова, О. М. Биомасса лишайника *Hypogymniaphysodes* в сырых и мокрых типах сосновых лесов юго-востока Беларуси / О. М. Храменкова, А. Г. Цуриков // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб.н.т. ИЛ НАН Беларуси. Выпуск 75. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2015. – С. 508–516.
10. Погребняк, П. С. Общее лесоводство / П. С. Погребняк. – М.: Колос, 1968. – 440 с.
11. Юркевич, И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах / И. Д. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1980. – 120 с.

**V. M. Khramchankova, D. N. Drazdou,
R. I. Novikau, A. M. Sauchanka**

DEPENDENT POPULATION PINE TREE TRUNK LICHENS HYPOGYMNIAPHYSODES (L.) NYL. ON THE TYPES AND AGE OF PINE FORESTS AND BARK MINERAL COMPOSITION

It was identified the regression of Hypogymnia physodes weight and projective cover at an altitude pine trunk 90–130 cm. It was found that the type and age of the forest plantations are responsible for 7 % and 9 % of the value of the variation of the population lichen pine trunks. Lifetime pine stand distinguished 3 age periods, roughly corresponding to I–III, IV–V and VI–VII classes of age, when the population stems lichen Hypogymnia physodes, respectively, increases, decreases, increases again, after which goes to zero for class VIII age. This pattern was significantly associated with a manganese content in the top layer of the cortex lichen-pine trunk habitable zone.

Д. Н. Федотов

*Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»,
г. Витебск, Республика Беларусь*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕСТРОЕК ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И НАДПОЧЕЧНИКОВ УЖА ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ АРЕАЛА ОБИТАНИЯ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

В статье представлены анатомические и гистологические особенности строения щитовидной железы и надпочечников ужей, обитающих на севере Беларуси. Установлено, что щитовидная железа ужей не парная, шаровидной формы, темно-красного цвета, а надпочечники удлинённой, лентовидной формы, расположены асимметрично, имеют желто-золотистый оттенок и своеобразную текстуру. Щитовидная железа дольчатой не является, а фолликулы преимущественно округлой формы, после зимней спячки в период половой активности – вытянутой, встречаются подушечки Сандерсона, участвующие в процессах новообразования фолликулов. Хромафинная ткань надпочечника ужа разделяется на 2 части – дорсальную, состоящую из норадреналиноцитов и внутреннюю, состоящую из адреналиноцитов, которая переплетена с интерреналовыми тяжами. В надпочечнике ужа установлено 2 вида интерреналоцитов: субкапсулярные и внутренние.

➤ **Ключевые слова:** морфология, щитовидная железа, надпочечники, змеи.

Введение

Гистология – медико-биологическая наука, которая с различных концепций дает нам базисное представление о строении, функции и трансформации организмов в ходе филогенеза, отражение которого мы находим в онтогенезе позвоночных [1].

Щитовидная железа – это эндокринный орган, который регулирует все обменные процессы в организме. Гистологически можно определять функциональное состояние щитовидной железы, а также влияние экологических факторов на организм, что позволяет использовать ее в качестве биоиндикатора состояния окружающей среды [4]. Надпочечник – это эндокринный орган с удивительным развитием в процессе филогенеза, и уникальным строением и функциями в онтогенезе. У высших позвоночных он является единым органом, но в действительности – это два органа – интерреналовая железа и супрареналовая железа, которые в эволюционном процессе совершенно независимо закладываются и отражаются в индивидуальном развитии высших позвоночных [3, 5].

Термин «надпочечник», собственно, не подходит для рептилий, поскольку у них он располагается ближе к гонадам, чем к почкам, но традиционно он сохраняется в отношении пресмыкающихся на основании его расположения у остальных классов позвоночных [5].

Своеобразный и пока биологически недостаточно объяснимый путь исторического развития надпочечников позвоночных побудил нас к изучению данных органов у класса рептилий (*Reptilia*), отряда чешуйчатые (*Squamata*), подотряда змеи (*Serpentes*), у которых интерреналовая и супрареналовая железы впервые тесно объединяются [2].

Наиболее доступным объектом исследований из змей обитающих на территории Республики Беларусь является уж обыкновенный (*Natrix natrix*). Рептилии являются наиболее уникальным объектом исследования природы и изменения экологических условий ареала, а их щитовидная железа и надпочечники являются одним из наиболее чувствительных органов, реагирующих на биотические и антропогенные факторы среды обитания.

Цель исследований – проследить закономерность морфологических перестроек в периферических эндокринных железах ужа обыкновенного в возрастном аспекте и после анабиоза (зимней спячки) в условиях ареала обитания Белорусского поозерья.

Материал и методы исследований

Змей отлавливали в мае – сентябре 2011 г. и в апреле – июле 2015 г. в условиях лесной экосистемы. Преимущественно исследовались неполовозрелые самцы (длинной от 40 до 60 см, живой массой от 45 до 54 г) и половозрелые самцы (длиной от 60 до 90 см, живой массой от 60 до 99 г). Всего использовано 23 особи. Ужей умертвляли эфиром, после чего целиком фиксировали в растворе Клот-

за. При выполнении экспериментальных исследований мы соблюдали и руководствовались Международными правилами работы с рептилиями «Guidelines for use of live amphibians and reptiles in field research». Щитовидные железы фиксировали в 10 %-ом растворе нейтрального формалина и жидкости Бродского. Надпочечники фиксировали в жидкостях Мюллера-Орта и Ружа. Дополнительно исследовались семенники на выявление активности процессов сперматогенеза с целью установления половозрелости самцов. Гистологические срезы изготавливали на санном и замораживающем микротоме и окрашивали гематоксилин-эозином.

Абсолютные измерения структурных компонентов щитовидной железы осуществляли при помощи светового микроскопа «Olympus» модели BX-41 с цифровой фотокамерой системы «Altra₂₀» и спектрометра HR 800 с использованием программы «Cell^A» и проводили фотографирование цветных изображений (разрешением 1400 на 900 пикселей). Дополнительно на цифровом микроскопе Celestron с LCD-экраном PentaView, модели #44348 проводили фотографирование, с последующим анализом цветных изображений (разрешением 1920 на 1080 пикселей).

Результаты исследований

Щитовидная железа у ужей располагается на вентральной поверхности трахеи на уровне 44–49 трахеальных хрящевых полуколец (у молодых особей на 7-м см от головного конца тела, у взрослых – на 9-м см). Располагается до перекреста трахеи с пищеводом, почти вплотную примыкает к сердцу, а именно к его правому предсердию, которое располагается на вентральной стороне органа. У молодых особей щитовидная железа располагается между правой и левой долями тимуса, которые вплотную примыкают к вентральным стенкам правой и левой передних полых вен. У взрослых половозрелых особей тимус практически не обнаруживается. Щитовидная железа ужей не парная, шаровидной формы, темно-красного цвета (у крупных особей иногда буроватого цвета). От левой общей сонной артерии отходит щитовидная артерия, которая раздваивается и дает ветвь к щитовидной железе (входит в ее вентральную часть) и ветвь к правой доле тимуса (рис. 1–2).

Абсолютная масса щитовидной железы колеблется в пределах 0,01–0,04 г и в среднем составляет 0,03±0,01 г, длина – 0,4–0,53 см (0,47±0,06 см), толщина – 0,4–0,52 см (0,45±0,06 см) и ширина – 0,4–0,53 см (0,47±0,06 см) (рис. 3).

При гистологическом исследовании установлено, что щитовидная железа ужей всех возрастных групп имеет типичное фолликулярное строение. Железа покрыта очень тонкой капсулой и дольчатой не является. Фолликулы округлой или неправильно-округлой формы, после зимней спячки в период половой активности встречаются фолликулы вытянутой формы. Стенка фолликулов выстлана преимущественно однослойным призматическим и кубическим эпителием. Между аденомерами встречаются интерфолликулярные островки, а также подушечки Сандерсона участвующие в процессах новообразования фолликулов. Щитовидная железа ужей обильно кровоснабжается. Фолликулы пустые или наполовину заполнены коллоидом, что свидетельствует об его активной резорбции тироцитами. Наиболее активная резорбция коллоида фолликулов наблюдается в щитовидных железах половозрелых особей. С-клетки локализованы по всей железе в виде островков – межфолликулярное положение и одиночно – интрозпитиально в стенке фолликулов. С-клетки преимущественно округлой формы. Ядра чаще округлые, реже вытянутые, и как правило, несколько крупнее и светлее ядер тироцитов. Ядро содержит 1–3 ядрышка. Гранулы не равномерно распределены по цитоплазме С-клеток (рис. 4–7).

Толщина капсулы щитовидной железы у неполовозрелых особей ужей составляет 16,71±3,45 мкм, а у взрослых особей показатель незначительно снижается до 15,89±3,57 мкм.

Высота тироцитов щитовидной железы минимальна до полового созревания, но после него – увеличивается на 30,69 % и равна 7,69±0,91 мкм ($p < 0,05$). Объем ядер тироцитов с возрастом увеличивается на 17,92 %. У неполовозрелых ужей диаметр фолликулов щитовидной железы составляет 108,24±9,01 мкм, а у взрослых особей размер аденомеров в 1,74 раза ($p < 0,01$) уменьшается, что указывает на повышение морфофункциональной активности железы, т. к. индекс Брауна у данной возрастной группы в 2,56 раза ниже ($p < 0,001$) и равен 8,13±1,16 усл. ед. Количество тироцитов в фолликуле щитовидной железы уже двух возрастных групп значительно не изменяется. После анабиоза у взрослых половозрелых особей увеличивается высота тироцитов в 1,55 раза ($p < 0,01$), снижается диаметр фолликулов на 23,15 % ($p < 0,05$) и количество клеток в фолликуле в 1,95 раза ($p < 0,001$) по сравнению с взрослыми особями, что свидетельствует об активации гормонопоза. Настоящая морфофункциональная активность подтверждена низким индексом Брауна – 4,07±0,67 усл. ед., который в 2 раза ниже ($p < 0,01$) по сравнению со взрослыми ужами и в 5,11 раза с неполовозрелыми особями (табл. 1).

Морфометрические показатели щитовидной железы ужа

Показатели	Возрастные группы		
	Неполовозрелые	Взрослые	Взрослые после анабиоза
Толщина капсулы, мкм	16,71±3,45	15,89±3,57	17,29±4,07
Высота тироцитов, мкм	5,33±0,81	7,69±0,91*	11,89±1,17**
Объем ядер тироцитов, мкм ³	50,56±2,21	61,60±2,21	74,31±2,97
Диаметр фолликулов, мкм	108,24±9,01	62,07±4,13**	47,70±3,02*
Количество клеток в фолликуле, мкм	54,29±7,02	52,44±6,41	26,86±4,26***
Индекс Брауна, усл. ед.	20,81±4,16	8,13±1,16***	4,07±0,67**

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; * – по отношению к предыдущей возрастной группе.

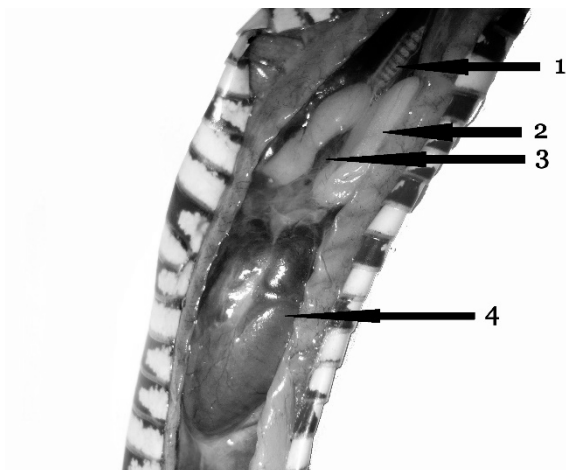


Рисунок 1 – Анатомо-топографические особенности щитовидной железы неполовозрелых ужей:

1 – трахея, 2 – тимус,
3 – щитовидная железа, 4 – сердце

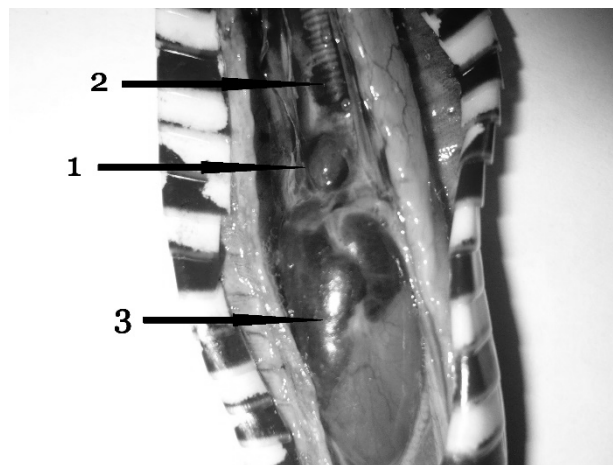


Рисунок 2 – Анатомо-топографические особенности щитовидной железы взрослых ужей:

1 – щитовидная железа, 2 – трахея,
3 – сердце



Рисунок 3 – Макроскопический вид щитовидной железы ужа

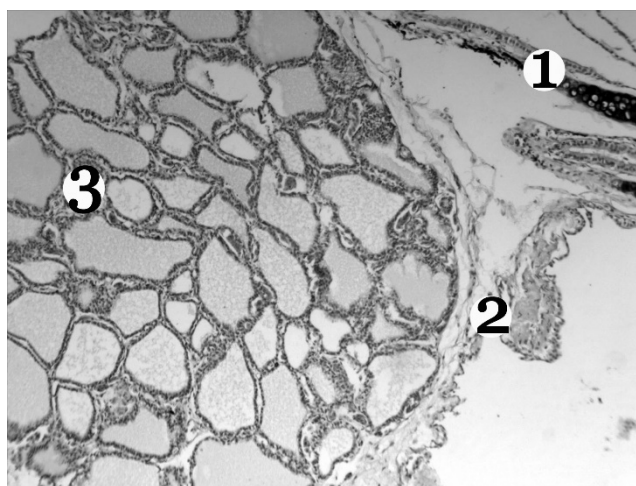


Рисунок 4 – Гистологическая конструкция щитовидной железы ужа после анабиоза: 1 – трахея, 2 – капсула, 3 – фолликулы

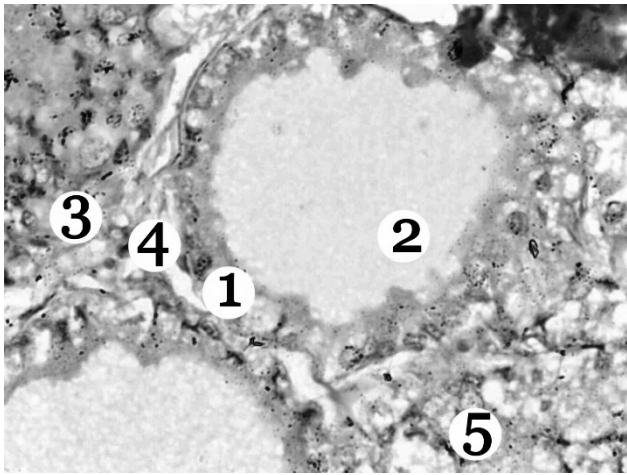


Рисунок 5 – Структурные компоненты щитовидной железы неполовозрелого ужа: 1 – тироциты, 2 – коллоид, 3 – С-клетки, 4 – межфолликулярные соединительнотканые прослойки, 5 – интерфолликулярные островки

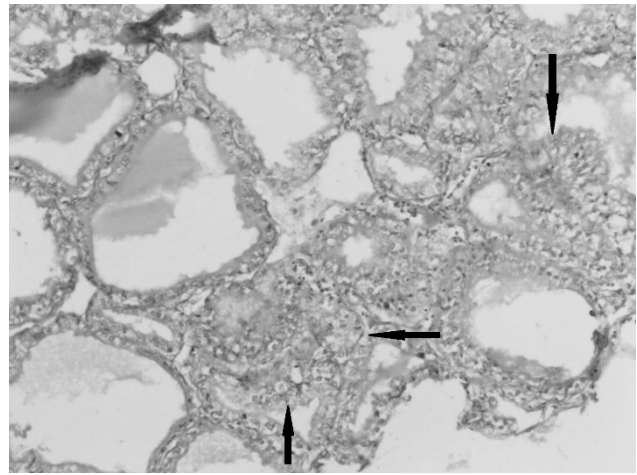


Рисунок 6 – Подушечки Сандерсона в щитовидной железе ужа (отмечены стрелками)

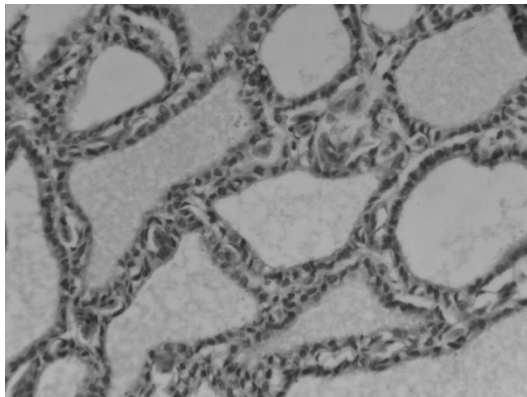


Рисунок 7 – Кровенаполнение щитовидной железы взрослого ужа после анабиоза

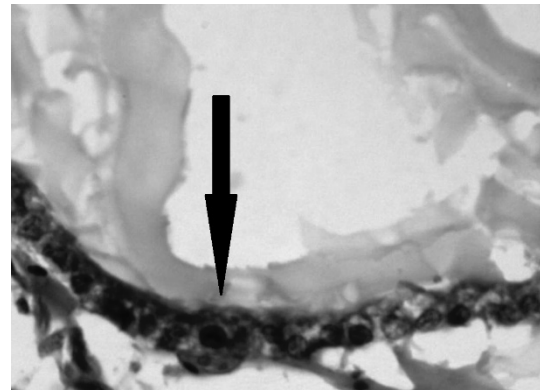


Рисунок 8 – Локализация С-клетки в тиреоидном эпителии фолликула щитовидной железы половозрелого ужа

Надпочечники ужей находятся на уровне половых желез и включены в их брыжейку. Надпочечник прилегает к придатку семенника, который прилегает к медиальной стенке половой железы. Правый и левый надпочечники удлинённой, лентовидной формы, расположены асимметрично, имеют желто-золотистый оттенок и своеобразную текстуру. Парные семенниковые артерии дают мелкие две ветви к надпочечнику. Задняя полая вена имеет переход в брыжейку семенника и принимает сосуды от половой железы и надпочечника. Абсолютная масса двух надпочечников равна $0,24 \pm 0,04$ г. Длина одного надпочечника варьирует в пределах 0,8–1,4 см и в среднем составляет $1,06 \pm 0,24$ см, толщина – 0,1–0,2 см ($0,16 \pm 0,05$ см) и ширина 0,1–0,25 см ($0,19 \pm 0,05$ см). Правый надпочечник длиннее, чем левый.

Надпочечник окружен совсем тонкой соединительнотканной капсулой, толщиной в $16,55 \pm 1,20$ мкм, вокруг которой встречаются крупные сосуды.

Интерреналовая ткань представлена анастомозирующими клеточными тяжами. Клеточные тяжи интерреналовой ткани тесно лежат друг около друга, каждый из них состоит из двух рядов клеток и извивается без какого-либо определенного порядка. Клетки полигональной формы, чаще столбчатые. Ядра интерреналоцитов лежат на разных уровнях в тяжах, то ближе к эндотелию прилежащих капилляров, то дальше от базальной поверхности. Цитоплазма интерреналоцитов вакуолизирована и окрашивается не одинаково. У взрослых особей в надпочечнике тяжи интерреналоцитов перевиваются в различных направлениях, но, в общем, имеют продольную ориентацию (рис. 9–10).

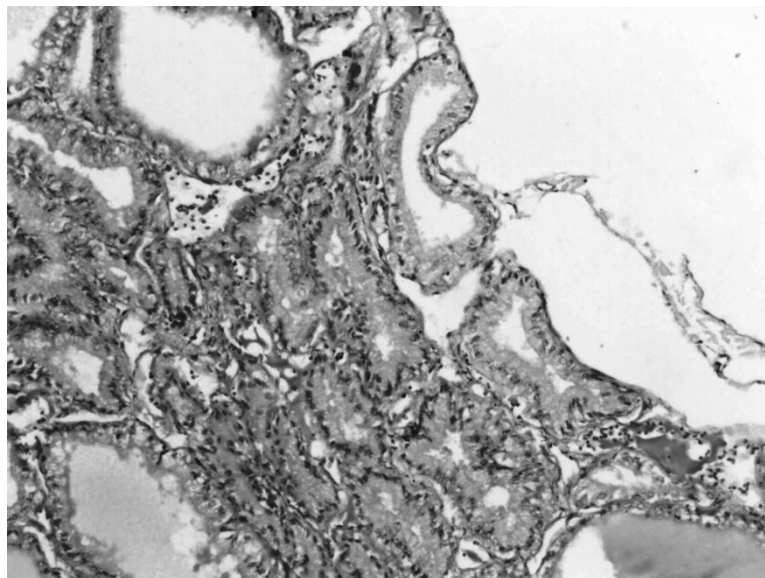


Рисунок 9 – Фолликулогенез в щитовидной железе ужа после анабиоза

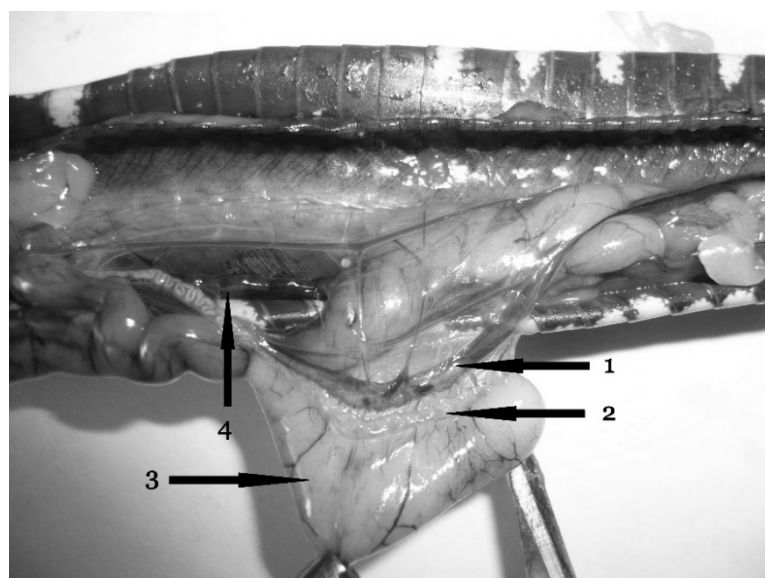


Рисунок 10 – Анатомо-топографические особенности надпочечников взрослых ужей:
1 – надпочечник, 2 – придаток семенника, 3 – семенник, 4 – почка

В надпочечнике ужей отсутствует центральная вена, вместо нее присутствует сеть синусоидных кровеносных капилляров, расположенная между разветвленными тяжами интерреналовой ткани, которые окружены с обеих сторон эндотелием.

Интерреналоциты преимущественно цилиндрической формы, но встречаются в тяжах клетки кубической и полигональной формы. Их цитоплазма пеннистая. Ядра в интерреналоцитах лежат на разных уровнях, то ближе к эндотелию прилежащих капилляров, то дальше от базальной поверхности.

Хромафинная ткань надпочечника ужа разделяется на 2 части – дорсальную, состоящую из норадреналиноцитов (Н-клеток) и внутреннюю, состоящую из адреналиноцитов (А-клеток), которая переплетена с интерреналовыми тяжами. Дорсальный тяж может заходить за полюс надпочечника в форме изолированного островка на поверхности надпочечника, вне тонкой капсулы, окружающей надпочечник, т.е. экстракапсулярно. В центре железы располагаются А-клетки в виде скоплений, разделенные между собой соединительной тканью и сосудами, располагаясь без какой-либо ориентации. Под капсулой хромафиноциты преимущественно неправильной формы, а в медуллярных островках – полиэдрической формы. Цитоплазма их неоднородна и местами содержит гранулы, которые располагаются в перенуклеарном пространстве. Ядра круглые или слегка вытянутые (рис. 11–14).

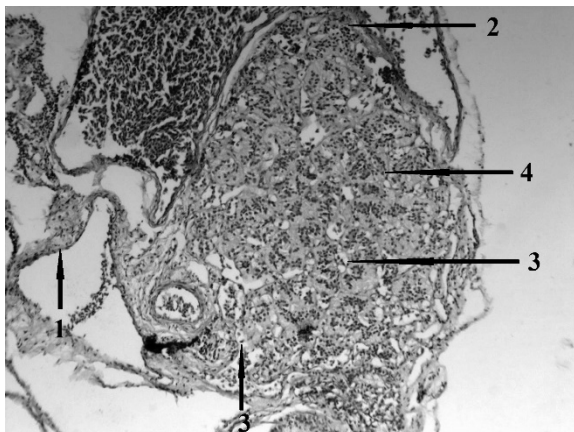


Рисунок 11 – Гистологическая конструкция надпочечника неполовозрелого ужа:

1 – экстракапсулярная супраренальная ткань, 2 – Н-клетки, 3 – А-клетки, 4 – тяжи интерреналоцитов

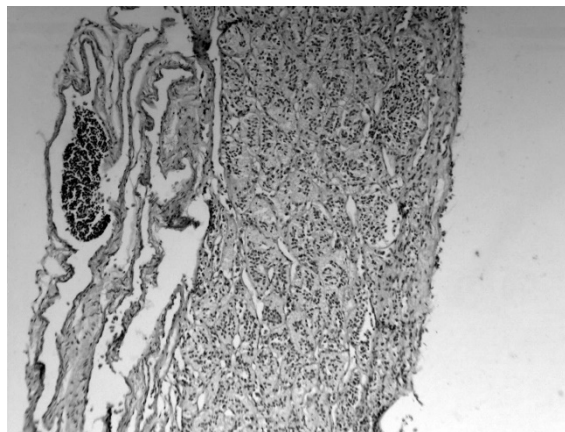


Рисунок 12 – Гистологическая конструкция надпочечника взрослого ужа

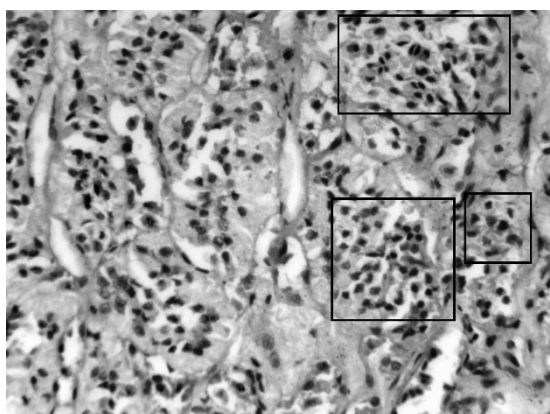


Рисунок 13 – Пролиферация А-клеток в надпочечнике ужа после анабиоза (указано в квадратах)

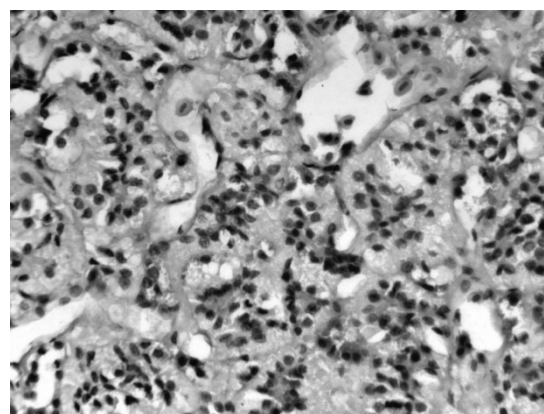


Рисунок 14 – Внутренние интерреналоциты ужа и синусоидные капилляры ужа

Таблица 2

Морфометрические показатели надпочечников ужа

Показатели	Возрастные группы		
	Неполовозрелые	Взрослые	Взрослые после анабиоза
Размер субкапсулярных интерреналоцитов, мкм	20,14±2,61	15,67±2,00*	21,71±1,50*
Объем ядра субкапсулярных интерреналоцитов, мкм ³	101,91±2,34	86,99±3,13	113,57±4,56*
Размер внутренних интерреналоцитов, мкм	12,86±1,95	19,55±1,33**	20,43±1,52
Объем ядра внутренних интерреналоцитов, мкм ³	79,91±1,52	119,62±2,90*	120,40±2,24
Диаметр ядер хромаффинноцитов, мкм	5,29±1,38	6,56±1,33	7,00±1,15
Относительный объем интерреналовой ткани, %	69,86±5,64	82,56±4,39	62,71±5,22
Относительный объем супрареналовой ткани, %	30,14±5,64	17,44±4,39	37,29±5,22**

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; * – по отношению к предыдущей возрастной группе.

В надпочечнике ужа мы выделяем 2 вида интерреналоцитов: субкапсулярные и внутренние. Размер субкапсулярных интерреналоцитов у неполовозрелых особей составляет $20,14 \pm 2,61$ мкм, у взрослых в 1,29 раза показатель ниже ($p < 0,05$). Однако после анабиоза высота клеток увеличивается в 1,39 раза ($p < 0,05$), а объем ядер – на 23,4 % ($p < 0,05$) по сравнению с взрослыми особями. У неполовозрелых ужей размер внутренних интерреналоцитов меньше по сравнению с субкапсулярными, в остальные возрастные периоды их размеры практически колеблется в одних пределах. У взрослых особей змей размер внутренних интерреналоцитов увеличивается в 1,52 раза ($p < 0,01$) и составляет $19,55 \pm 1,33$ мкм. После анабиоза показатель достоверно не изменяется. Объем ядер внутренних интерреналоцитов максимальный у взрослых особей и равен $119,62 \pm 2,90$ мкм³ ($p < 0,05$).

Диаметр хромоффиноцитов достоверных возрастных изменений не имеет и колеблется от $5,29 \pm 1,38$ мкм до $7,00 \pm 1,15$ мкм. В надпочечника ужа преобладающей является интерреналовая ткань, особенно она преобладает у взрослых особей ($82,56 \pm 4,39$ %). Супрареналовая ткань не преобладает в надпочечнике ужей, но наибольшее ее количество наблюдается после анабиоза у змей – $37,29 \pm 5,22$ % ($p < 0,01$) (табл. 2).

Заключение

Таким образом, своеобразие морфофункциональной организации и среды обитания изучаемого вида рептилий налагает отпечаток на степень фило- и онтогенетической зрелости одних из периферических органов их эндокринной системы – щитовидной железы и надпочечников.

Список литературы

1. Биология и морфология змей: учебное пособие / сост. В. А. Порублев; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2008. – 52 с.
2. Пикулик, М. М. Пресмыкающиеся Белоруссии / М. М. Пикулик, В. А. Бахарев, С. В. Косов. – Минск: Наука и техника, 1988. – 166 с.
3. Федотов, Д. Н. Цитоморфометрия надпочечников животных как функциональная парадигма / Д. Н. Федотов // Цитоморфометрия в медицине и биологии: фундаментальные и прикладные аспекты: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, г. Москва, 19 – 20 мая 2011 г. – Москва, 2011. – С. 99–101.
4. Федотов, Д. Н. К вопросу о структурной организации щитовидной железы змей / Д. Н. Федотов // Инновации в ветеринарной медицине, биологии, зоотехнии: Материалы XI международной конференции молодых ученых, г. Витебск, 24–25 мая 2012 г. – Витебск: ВГАВМ, 2012. – С. 117–118.
5. Федотов, Д. Н. Становление компонентов надпочечников у человека и животных (гистофизиологические фундаментальные и экспериментальные аспекты) : монография / Д. Н. Федотов, В. А. Косинец. – Витебск : ВГМУ, 2012. – 130 с.

D. N. Fiadotau

LAWS OF MORPHOLOGICAL REARRANGEMENTS THYROID AND ADRENAL GLANDS GRASS SNAKE IN THE CONDITIONS HABITAT BELARUSIAN LAKELAND

The article presents the anatomical and histological features of the structure of thyroid and adrenal glands snake. It was found that the thyroid gland is not snakes steam, spherical, dark red, and the adrenal glands elongate ribbon-like shape, are arranged asymmetrically, have a yellow-golden color and unique texture. The thyroid gland is not lobed and follicles predominantly round shape after hibernation during sexual activity - length, there are pads Sanderson involved in the processes of follicular. Adrenal medulla tissue adder is divided into two parts - the dorsal consisting of N-cells and an inner consisting of A-cells, which is intertwined with strands internal. The adrenal gland of the snake species found 2 cortex cells: sub capsular and internal.

Р. К. Нагорный, Е. М. Глушень, А. С. Самсонова

Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕПАРАТА МИКРОБНОГО «ТЭАМИН» НА ЕГО ДЕСТРУКТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ В ОТНОШЕНИИ ТРЕТИЧНЫХ АМИНОВ

*В статье приведены результаты изучения деструктивной активности культур *Rhodococcus qingshengii* НСТ-32, *Rhodococcus jialingiae* НСТ-91 и препарата «Тэамин» в отношении триэтиламина, триметиламина и диметилэтиламина. Установлено, что уровень деструктивной активности исследуемых культур и препарата, полученных на среде Мейнелла ниже, чем у культур, полученных на средах с аминами, но является достаточным для эффективной регенерации абсорбционных растворов, образующихся при абсорбционно-биохимической очистке воздушных потоков от данных ксенобиотиков. Обоснование возможности использования среды Мейнелла для получения исследуемых штаммов и препарата «Тэамин» исключает необходимость использования дорогих и токсичных сред, содержащих амины.*

► **Ключевые слова:** триэтиламин, триметиламин, диметилэтиламин, микроорганизм-деструктор.

Введение

Загрязнение природных и производственных сред триметиламином (ТМА), триэтиламином (ТЭА) и диметилэтиламином (ДМЭА) отрицательно сказывается на здоровье персонала промышленных предприятий, на которых реализуются технологические процессы с использованием данных веществ. Выбросы токсикантов в атмосферу, наряду с другими поллютантами, вредят жителям населенных пунктов, расположенных вблизи предприятий [1–3]. Тенденция к распространению в литейном производстве cold-box-amin процесса обуславливает актуальность данной проблемы [4]. Локальная биологическая очистка сточных вод и абсорбционных растворов от ТМА, ТЭА и ДМЭА с использованием высокоактивных микроорганизмов-деструкторов является перспективным способом удаления данных ксенобиотиков, значительно превосходящим по эффективности традиционные физико-химические методы [1]. В связи с вышесказанным, разработка технологии микробной очистки водных растворов от ТМА, ТЭА и ДМЭА представляется актуальной задачей.

Для решения данной проблемы нами из природной среды выделены штаммы *Rhodococcus qingshengii* НСТ-32 и *Rhodococcus jialingiae* НСТ-91 – высокоактивные деструкторы ТМА, ТЭА и ДМЭА [5–9]. На их основе разработан не имеющий мировых аналогов препарат микробный «Тэамин», предназначенный для очистки сточных вод и абсорбционных растворов от данных ксенобиотиков [10].

Одним из важнейших этапов разработки экономически эффективных технологий производства микробных препаратов являются оптимизация качественного и количественного состава питательных сред, обеспечивающих достижение максимального выхода биомассы составляющих их микроорганизмов. С экономической точки зрения наиболее приемлемым источником углерода является сахароза в составе мелассы свекловичной – отхода сахарного производства. По этой причине широко используемая в микробной биотехнологии питательная среда Мейнелла с мелассой в качестве источника углерода является оптимальной для культивирования штаммов *Rh. qingshengii* НСТ-32 и *Rh. jialingiae* НСТ-91.

С другой стороны, в мировой практике получения биопрепаратов-деструкторов органических веществ установлено, что для культивирования составляющих их микроорганизмов оптимальным является использование питательных сред, содержащих подлежащий удалению ксенобиотик в качестве единственного источника углерода. Такой подход позволяет получить культуры с наибольшей начальной деструктивной активностью и исключить длительный период адаптации к новому растовому субстрату. Однако получение значительных объемов таких культур, основанное на использовании сред с ТМА, ТЭА и ДМЭА, сопряжено с рядом проблем:

1) высокая стоимость ТМА, ТЭА и ДМЭА по сравнению с традиционно используемыми в биотехнологии источниками углерода (сахароза в составе мелассы) и азота (соли аммония и нитраты);

2) токсичность и высокая летучесть данных ксенобиотиков, обуславливает необходимость принятия мер по созданию особых условий для безопасной работы персонала биотехнологического производства, что требует материальных затрат;

3) основность ТМА, ТЭА и ДМЭА, приводящая к коррозии оборудования и обуславливающая необходимость использования минеральных кислот в значительных количествах для обеспечения оптимального количества водородных ионов в составе питательных сред;

4) ТМА, ТЭА и ДМЭА не являются универсальными ростовыми субстратами для различных культур, в то время как традиционные источники углерода, такие как меласса свекловичная, могут быть использованы для получения широкого спектра биопрепаратов.

В связи с вышесказанным, нами рассмотрена возможность использования для культивирования исследуемых штаммов дешевой и нетоксичной среды Мейнелла с мелассой свекловичной в качестве источника углерода, а также минеральных сред с ТМА, ТЭА и ДМЭА с последующим сравнением деструктивной активности полученных культур в отношении данных ксенобиотиков.

Таким образом, целью работы является изучение влияния состава среды культивирования штаммов *Rh. qingshengii* НСТ-32, *Rh. jialingiae* НСТ-91 и созданного на их основе препарата микробного «Тэамин» на их деструктивную активность в отношении ТМА, ТЭА и ДМЭА.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования явились: штамм-деструктор ТЭА *Rh. qingshengii* НСТ-32; штамм-деструктор ТЭА, ТМА и ДМЭА *Rh. jialingiae* НСТ-91; микробный препарат «Тэамин».

Получение культур *Rh. qingshengii* НСТ-32, *Rh. jialingiae* НСТ-91 и микробного препарата «Тэамин» проводили с использованием жидких и агаризованных питательных сред:

1. Полусинтетическая среда Мейнелла с мелассой свекловичной в качестве источника углерода (в г/дм³): меласса свекловичная – 30,0; К₂НРО₄ – 7,0; КН₂РО₄ – 3,0; MgSO₄×7H₂O – 0,1; (NH₄)₂SO₄ – 1,5; цитрат натрия – 0,5; pH 7,0–7,2. Использовалась меласса с массовой долей сахарозы 43,0 %.

2. Разработанные нами синтетические среды, содержащие ТМА, ТЭА либо ДМЭА, где каждый из ксенобиотиков является единственным источником углерода и азота. Минеральная основа среды (в г/дм³): NaH₂PO₄×2H₂O – 1,6; КН₂РО₄ – 1,0; MgSO₄×7H₂O – 0,8; pH 7,0–7,5.

Изучение процесса деструкции ТМА, ТЭА и ДМЭА культурами *Rh. qingshengii* НСТ-32, *Rh. Jialingiae* НСТ-91 и микробным препаратом «Тэамин» проводили в периодических условиях культивирования в колбах Эрленмейера (объем 500,0 см³) на термостатированных орбитальных шейкерах при частоте колебания платформы 160 об/мин. и температуре 28,0 °С. Исследуемые культуры и препарат «Тэамин» вносились в очищаемую среду до достижения исходного титра клеток 1×10⁷ КОЕ/см³.

О деструктивной активности препарата «Тэамин» в отношении ТМА, ТЭА и ДМЭА судили на основании снижения концентрации токсикантов в среде культивирования. Образцы для контроля отбирали с интервалом 10 мин. Отобранные образцы подвергали воздействию ультразвука с использованием прибора Sonifier-450 (Branson, США) при следующих режимах: мощность – 0,05 кВт; температура – 4,0 °С; продолжительность – 600 импульсов по 0,5 с; после чего их центрифугировали 15 мин. при 15 000 g. Остаточное содержание ксенобиотиков в супернатанте определяли на жидкостном хроматографе Agilent 1200 с масс-детектором Agilent 6410 Triple Quad. Разделение компонентов в анализируемых образцах проводили на колонке Zorbax XDB C18 (4,6×50 мм; 1,8 мкм) при температуре 25,0 °С. Объем инъекции составлял 0,002 см³. Подвижные фазы: А – 0,1 %-й водный раствор трифторуксусной кислоты, фаза В – ацетонитрил. Использовали изократический режим элюирования 2,0 % фазы В. Скорость течения элюента – 0,5 см³/мин. Интерфейс ионизации – электроспрей Agilent G1948B API-ES в режиме положительных ионов. Для проведения анализа использовали режимы полного сканирования (MS2-Scan) в диапазоне масс от 30,0 до 200,0 Да. Параметры работы детектора: температура осушающего газа – 300,0 °С, скорость потока осушающего газа – 10,0 дм³/мин., давление на распылителе – 30 psi, напряжение на капилляре – 4000,0 В, напряжение на фрагменторе – 60,0 В. Анализ хроматограмм и масс-спектров проводили с использованием компьютерного обеспечения Agilent MassHunter Workstation Software version B.01.03 (Agilent Technologies Inc., США).

Результаты и их обсуждение

Изучение деструктивной активности штамма *Rh. qingshengii* НСТ-32 в отношении ТЭА позволило установить, что она зависит от способа культивирования данного микроорганизма. Использование среды Мейнелла с мелассой позволяет получить культуру, утилизирующую данный ксенобиотик в концентрации 100,0 мг/см³ за 10 часов (рис. 1). Культура *Rh. qingshengii* НСТ-32, полученная на среде с ТЭА утилизирует, ксенобиотик в 2 раза быстрее (за 5 часов).

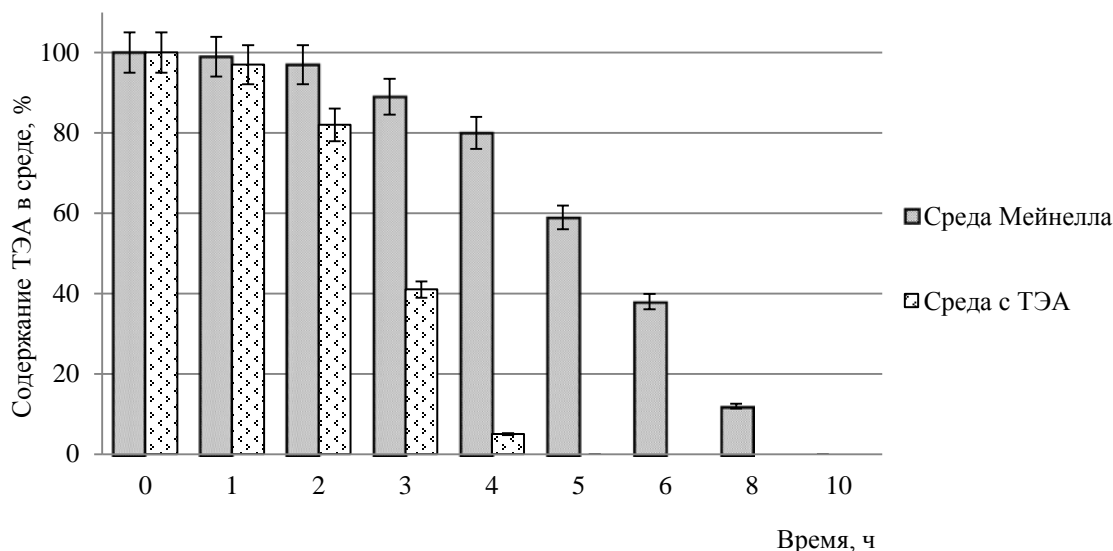


Рисунок 1 – Утилизация ТЭА в концентрации 100,0 мг/см³ культурами *Rh. qingshengii* НСТ-32, полученными на среде Мейнелла и минеральной среде с ТЭА

Следует отметить, что культура *Rh. qingshengii* НСТ-32 полученная на среде Мейнелла, несмотря на меньшую деструктивную активность, в сравнении с культурой, полученной на среде с ТЭА, превосходит по данному показателю мировые аналоги. Анализ состава абсорбционных растворов в абсорбционно-биохимических установках по очистке воздушных потоков от ТЭА, функционирующих на крупных машиностроительных предприятиях республики (ОАО «Минский автомобильный завод», ОАО «Тракторный завод», ОАО «Могилевлифтмаш»), позволил установить, что концентрация токсиканта 100,0 мг/см³ является характерной для данных очистных сооружений. В связи с вышесказанным, уровень деструктивной активности культуры *Rh. qingshengii* НСТ-32 полученной на среде Мейнелла является достаточным для эффективной регенерации абсорбентов, содержащих данный ксенобиотик.

В результате проведенных исследований установлено, что ТЭА в концентрациях 1000,0 и 10 000,0 мг/л утилизируется культурой *Rh. qingshengii* НСТ-32, полученной на среде Мейнелла, за 48 и 144 часа, соответственно. Использование среды с ТЭА позволяет получить культуру *Rh. qingshengii* НСТ-32, утилизирующую токсикант в аналогичных концентрациях за 20 и 72 часа, соответственно (рис. 2, 3).

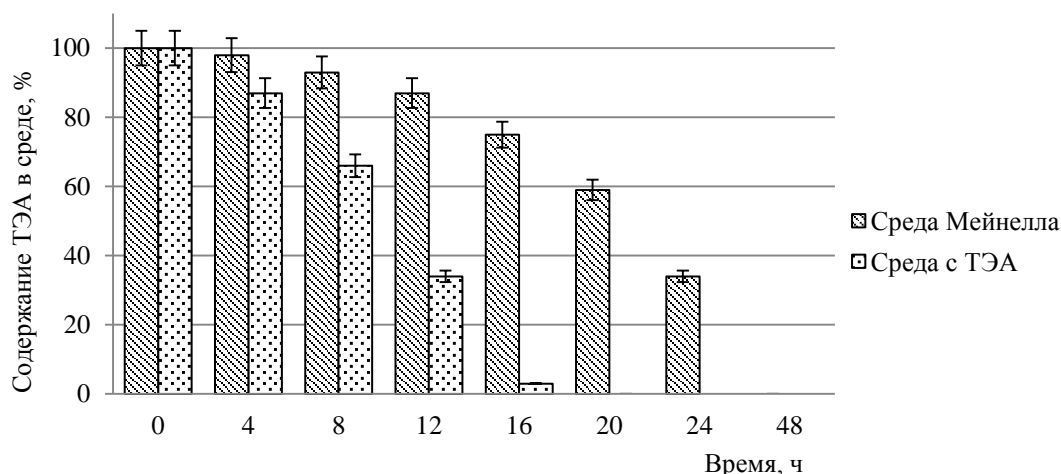


Рисунок 2 – Утилизация ТЭА в концентрации 1000,0 мг/см³ культурами *Rh. qingshengii* НСТ-32, полученными на среде Мейнелла и минеральной среде с ТЭА

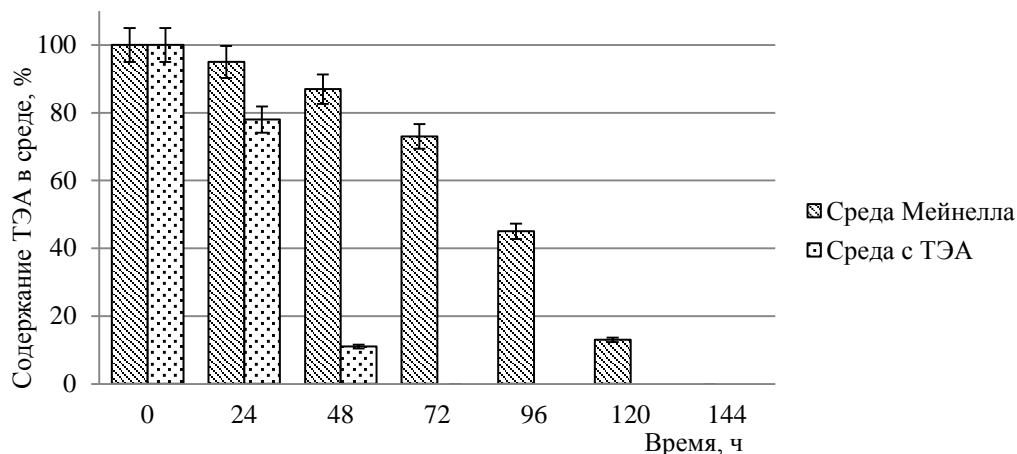


Рисунок 3 – Утилизация ТЭА в концентрации 10000,0 мг/см³ культурами *Rh. qingshengii* НСТ-32, полученными на среде Мейнелла и минеральной среде с ТЭА

Изучение деструктивной активности штамма *Rh. jialingiae* НСТ-91 в отношении ТЭА, ТМА и ДМЭА позволило выявить аналогичную закономерность: культуры, полученные на среде Мейнелла, характеризуются меньшей деструктивной активностью (табл. 1).

Таблица 1

Сроки утилизации ТЭА, ТМА и ДМЭА культурой *Rh. jialingiae* НСТ-91 в зависимости от способа ее получения

Утилизируемый ксенобиотик	Концентрация, мг/дм ³	Сроки полной утилизации, ч	
		Культура <i>Rh. jialingiae</i> НСТ-91, полученная на среде Мейнелла	Культура <i>Rh. jialingiae</i> НСТ-91, полученная на среде с соответствующим амином
ТЭА	100	12	6
	1000	72	48
	10 000	144	96
ТМА	100	12	6
	1000	72	48
	10 000	144	96
ДМЭА	100	10	6
	1000	72	48
	10 000	120	96

Препарат микробный Тэамин, полученный в результате совместного глубинного культивирования штаммов *Rh. qingshengii* НСТ-32 и *Rh. jialingiae* НСТ-91 на среде Мейнелла, также уступает по уровню деструктивной активности препарат, полученный на средах с аминами (табл. 2).

Таблица 2

Сроки утилизации ТЭА, ТМА и ДМЭА препаратом «Тэамин» в зависимости от способа его получения

Утилизируемый ксенобиотик	Концентрация, мг/дм ³	Сроки полной утилизации, ч	
		Препарат «Тэамин», полученный на среде Мейнелла	Препарат «Тэамин», полученный на среде с соответствующим амином
ТЭА	100	10	5
	1000	72	18
	10 000	120	96
ТМА	100	14	8
	1000	72	30
	10 000	144	96
ДМЭА	100	12	8
	1000	72	30
	10 000	144	96

Несмотря на превосходящую деструктивную активность в отношении ТМА, ТЭА и ДМЭА культур *Rh. qingshengii* НСТ-32, *Rh. jialingiae* НСТ-91 и препарата «Тэамин», полученных на средах с данными ксенобиотиками, использование среды Мейнелла для культивирования предпочтительнее, так как существенно упрощает технологию производства.

Таким образом, обоснована возможность использования питательной среды Мейнелла с мелас-сой свекловичной в качестве источника углерода для глубинного культивирования штамма-деструктора ТЭА *Rh. qingshengii* НСТ-32; штамма-деструктора ТМА, ТЭА и ДМЭА *Rh. jialingiae* НСТ-91; совместного глубинного культивирования исследуемых штаммов для получения микробного препарата «Тэамин».

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что уровень деструктивной активности культур *Rh. qingshengii* НСТ-32, *Rh. jialingiae* НСТ-91 и микробного препарата «Тэамин» в отношении ТЭА, ТМА и ДМЭА зависит от используемой при их получении среды культивирования. Использование среды Мейнелла с мелассой свекловичной в качестве источника сахарозы позволяет получить исследуемые культуры и препарат с меньшей деструктивной активностью, уровень которой, однако, достаточен для эффективной очистки абсорбционных растворов, образующихся при абсорбционно-биохимической очистке воздушных потоков от данных ксенобиотиков.

Обоснование возможности использования среды Мейнелла с мелассой для получения исследуемых штаммов и микробного препарата «Тэамин» исключает необходимость использования дорогих и токсичных сред, содержащих амины.

Список литературы

1. Шаповалов, Ю. П. Очистка вентиляционного воздуха – прогрессивный выбор / Ю. П. Шаповалов // *Металл-Инфо*. – 2007. – №4. – С.20–21.
2. Albrecht, W. Health hazards of tertiary amine catalysts / W. Albrecht, R. Stephenson // *Scand. J. Work. Environ. Health* – 1988. – Vol. 14. – P. 209–19.
3. Akesson, B. Visual disturbances after experimental human exposure to triethylamine / B. Akesson, T. Floren, S. Skerfving, // *Br. J. Ind. Med.* – 1988. – Vol. 45. – P. 262–268.
4. Бусби, Э. Д. Получение отливок повышенной точности в формах, изготовленных с использованием технологии cold-box / Э.Д. Бусби, Дж. Дж. Арчибальд // *Литейщик России*. – 2008. – № 10. – С. 13–18.
5. Нагорный, Р. К. Штамм *Rhodococcus qingshengii* В-823Д – деструктор триэтиламина // *Материалы международной научно-практической конференции «Молодежь в науке – 2013»* / Р.К. Нагорный // *Молодежь в науке – 2013*. Прил. к журн. «Вес. Нац. акад. навук Беларусі». – 2013. – Ч. 3. – С. 114–118.
6. Нагорный, Р. К. Деструкция триэтиламина штаммом *Rhodococcus qingshengii* В-823Д / Р.К. Нагорный, А.С. Самсонова // *Сб. науч. трудов «Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты»* под ред. Э.И. Коломиец [и др.]. – Минск: РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2014. – Т. 6. – С. 301–316.
7. Нагорный, Р. К. Штамм *Rhodococcus jialingiae* НСТ-91 – деструктор триэтиламина и диметиламина // *Материалы международной научно-практической конференции «Молодежь в науке – 2014»* / Р.К. Нагорный, А.С. Самсонова // *Молодежь в науке – 2014*. Прил. к журн. «Вес. Нац. акад. навук Беларусі». – 2014. – Ч. 4. – С. 75–78.
8. Нагорный, Р. К. Деструкция триэтиламина штаммом *Rhodococcus jialingiae* НСТ-91 / Р. К. Нагорный, А. С. Самсонова // *Экологический вестник, МГЭУ им. А.Д. Сахарова*. – 2015. – № 1(31) – С. 20–24.
9. Нагорный, Р. К. Деструкция триметиламина штаммом *Rhodococcus jialingiae* НСТ-91 / Р. К. Нагорный, А. С. Самсонова // *Известия Нац. акад. наук Беларуси*. – 2015. – № 3 – С. 42–45.
10. Нагорный, Р. К. Микробный препарат «Тэамин» для очистки растворов от третичных аминов / Р. К. Нагорный, А. С. Самсонова // *Биология – наука XXI века: тез. докл. 19-ой Пущинской шк.-конф. молодых ученых*. – Пущино, 2015 г. – С.32.

R. K. Nagorny, A. S. Samsonova, E. M. Hlushen

DEGRADATION OF TRIETHYLAMINE BY STRAIN RHODOCOCCUS JIALINGIAE НСТ-91

*The article describes the results of the study destructive activity of *Rhodococcus qingshengii* НСТ-32, *Rhodococcus jialingiae* НСТ-91 cultures and preparation «Teamin» against triethylamine, trimethylamine and dimethylethylamine. It was determined that the level of the destructive activity of the cultures and the preparation obtained on the Meynell medium is lower than in cultures obtained on the media containing amines, but is sufficient for effective regeneration of the absorptive solutions formed in the absorptive-biochemical purification of air streams received from xenobiotics data. Justification for the possibility of using the Meynell medium for «Teamin» test strains and the drug eliminates the need for utilizing of expensive and toxic media containing amines.*

Л. И. Прищеп¹, И. А. Прищеп²

¹РУП «Институт мясо-молочной промышленности», г Минск, Республика Беларусь

²Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г Минск, Республика Беларусь

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭНТОМОПАТОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ *BACILLUS THURINGIENSIS*, ВЫДЕЛЕННЫХ В ЭКОСИСТЕМАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»

Лесной массив Национального парка «Беловежская пуца» является старейшим заповедником Европы, природным резерватом естественных лесов, их биоразнообразия и генетических ресурсов лесных древесных пород. Сохранение лесов в относительно естественном состоянии, богатство флоры и фауны, разнообразие экосистем, положение в системе природных комплексов Европы, определяют ценность пуцы, как объекта исследований в области биологии, экологии, биологического разнообразия, в том числе и энтомопатогенных микроорганизмов. Особый интерес представляют энтомопатогенные бациллы вида *Bacillus thuringiensis*, которые способны синтезировать ряд биологически активных веществ, обуславливающих вирулентность бацилл по отношению к широкому кругу фитофагов и адаптацию в различных экосистемах. Выделение из природных источников активных штаммов бактерий, регуляторов численности насекомых-вредителей остается актуальной проблемой с точки зрения выявления их естественного разнообразия, далеко не полно изученного к настоящему времени, в том числе и в Республике Беларусь.

Исследования по поиску погибших насекомых для выделения энтомопатогенных бацилл проведены в 25 кварталах пуцы с разным типом растительности, изучены места локализации членистоногих и показано их присутствие в подстилке, травостое, поверхностном слое почвы, в подлеске и в кроне деревьев. Для анализа собрано 147 образцов, выделены изоляты *Bacillus thuringiensis*, проведена видовая идентификация, оценены инсектицидные свойства по отношению к фитофагам.

➤ **Ключевые слова:** экосистема, биоразнообразие, энтомопатогенные бактерии, биологическая активность, фитофаги.

Введение

Национальный парк «Беловежская пуца» основан в 1991 г. на базе исторически сложившейся заповедно охраняемой территории площадью около 90 тыс. га. Именно здесь, в Беловежской пуце, удалось сохранить уникальные участки некогда огромного массива Европейской низменности. В 1992 г. решением ЮНЕСКО парк включен в список Мирового наследия человечества, в 1993 г. Беловежской пуце присвоен статус биосферного заповедника, который расположен у южной границы Евроазиатской хвойнолесной области с Европейской широколиственной [1]. Смешанные и широколиственные леса, необычайное сочетание растений представителей юга и севера, приморского и континентального климата, луга и водные системы сохраняются здесь в их естественном исходном состоянии. Флора Беловежской пуцы отличается большим количеством видов растений – белая пихта, различные виды дуба, ель, сосна, граб, ясень – которые ежегодно повреждаются вредителями.

Известно, что флора и фауна Беловежской пуцы изучались на протяжении длительного периода времени, значительно превышающего историю подобных исследований в заповедниках Беларуси. Однако, как показали работы по проблемам сохранения биоразнообразия микроорганизмов, целый ряд энтомопатогенных видов грибов, вирусов, бактерий, нематод, являющихся неотъемлемой частью лесных биоценозов, до сих пор остается неизученным даже в плане видового состава. Сохранение и циркуляция энтомопатогенных микроорганизмов в среде обитания насекомых зачастую позволяет регулировать численность вредителей, ограничивая их размножение. Потенциал энтомопатогенных микроорганизмов как средств регуляции численности фитофагов достаточно высок. Значение насекомого, как специфической среды существования патогенов проявляется в способности бацилл циркулировать в среде обитания насекомых в естественных экосистемах. Благодаря высоким адаптивным возможностям бактерии широко распространены в экосистемах, основным источником их скрининга являются погибшие насекомые природных популяций.

Начиная с 1962 г., когда бактерия *Bacillus thuringiensis* Berliner вошла в мировую номенклатуру как самостоятельный вид, продолжается поиск новых разновидностей штаммов кристаллоносных

бацилл в различных климатических зонах мира и благодаря их широкому распространению в природе спектр насекомых-мишеней постоянно расширяется [2].

В природных условиях возбудители болезней насекомых выступают как аутентичные регуляторы численности членистоногих вредителей, механизм их действия отработан веками в процессе эволюции паразито-хозяйинных отношений. Одним из существенных факторов, определяющих динамику и эволюцию лесных экосистем, являются периодически повторяющиеся вспышки массового размножения насекомых-вредителей. Естественная регуляция их численности осуществляется возбудителями вирусных, бактериальных и грибных заболеваний. Было отмечено повсеместное распространение штаммов *Bacillus thuringiensis* в естественной регуляции численности многих видов фитофагов, в отдельных случаях, в смешанных инфекциях [5–7]. Первые исследования, посвященные роли патогенов в ограничении лесных вредителей в Беловежской пушке были проведены в начале 1930-х гг. и касались оценки патогенов, поражающих короедов-типографов (*Ips typographus*, *Ips duplicatu*) [8]. В Беловежской пушке отмечены вспышки массового размножения зеленой дубовой листовертки *Tortix viridana* L. (1908–1909 гг., 1957 г.) и короеда типографа *Ips typographus* L. (1903–1907 гг.; 1992 г.; 1994–1997 гг.), которые сопровождалась периодом затухания за счет эпизоотий от патогенных микроорганизмов [9].

В Беларуси в период эпизоотии зернового листового пилильщика (*Dolerus haemotods* Schr.) на посевах ячменя (1979 г.) была отмечена 90 % гибель ложногусениц фитофага. Из погибших ложногусениц, собранных на ячмене в период эпизоотии, выделен изолят кристаллоносной бактерии, который был идентифицирован мадам де Баржак в Институте Пастера (Париж) как *Bacillus thuringiensis* var. *dendrolimus* H_{4a4b}. На штамм-продуцент получен патент [10] и создан первый отечественный био-препарат Дендролин.

Нами проведены многолетние поисковые работы по выделению новых штаммов энтомопатогенных бактерий, в результате поиска собраны насекомые из отрядов *Diptera*, *Coleoptera*, *Lepidoptera* и выделены энтомопатогенные микроорганизмы [11, 12].

Материалы и методы исследования

Согласно агроклиматическому районированию Беловежская пушка относится к южной, теплой, неустойчивой влажной зоне Республики Беларусь. Отличается тем, что здесь самая короткая и теплая зима, наибольшая продолжительность и теплообеспеченность вегетационного периода. Климат умеренно-теплый со среднегодовой температурой воздуха +7 °С с абсолютным максимумом +31,8 °С и минимумом – 26,6 °С. Продолжительность вегетационного периода со среднесуточной температурой воздуха +5 °С составляет в среднем 201 день. В распределении осадков по временам года и месяцам отмечается очень большая неравномерность. Наибольшее количество осадков обычно приходится на вегетационный период – 442,2 мм, что составляет 68,2 %, на морозный период приходится 206,3 мм или 31,8 %. Количество выпадающих осадков, как правило, увеличивается к концу весны.

В пушке проводится многолетний фитопатологический и энтомологический мониторинг на основе лесопатологического исследования насаждений и отмечается динамика численности фитофагов. Как известно, одним из ключевых факторов, определяющих динамику эпизоотического процесса в популяции насекомых, является наличие патогена с высокой вирулентностью и численность насекомого-хозяина в тесной связи с абиотическими факторами внешней среды. Присутствие облигатных энтомопатогенов, таких как бактерии, грибы, паразитические нематоды у определенного числа особей насекомых практически всегда отражаются на состоянии всей популяции. Независимо от характера проявления заболеваний, выявление инфицированных особей в популяциях насекомых Беловежской пушки является исключительно важным для оценки роли микроорганизмов в динамике численности природных популяций с точки зрения биологического разнообразия.

Выбор кварталов для обследования проводили с учетом ежегодного общего и рекогносцировочного лесопатологического надзора, т. е. обследовали участки неблагоприятные по лесопатологическому состоянию насаждений. Предпочтение отдавали участкам, где отмечалось массовое размножение фитофагов. При обследовании осматривали стволы деревьев, подрост, поверхность почвы в пределах проекции кроны. В ходе обследований собирали погибших насекомых и насекомых с явными признаками заболеваний. Собранный патологический материал помещали в пробирки Флоринского по одному экземпляру, этикетировали. Сбор, выделение и определение биологической активности кристаллоносных бацилл проводили согласно методики [13].

Для определения вирулентности выделенных изолятов кристаллоносных бактерий первичный отбор проводили на гусеницах лабораторной популяции большой вошинной моли (*Galleria mellonella* L.). Бактериальные суспензии отдельных штаммов получали путем смыва газонных культур.

Гусениц заражали с кормом (искусственная питательная среда). Опыты по определению биологической активности образцов бактериальных суспензий на основе *Bacillus thuringiensis* проведены согласно методическим указаниям. В качестве тест-объектов использованы гусеницы листогрызущих вредителей – пяденицы, листовертки, моли, пилильщики, личинки жуков [14]. Биологическая активность бактериальных препаратов и биологическая эффективность оценена по снижению численности фитофагов после обработок с поправкой на гибель в контрольном варианте согласно методики [15].

Результаты и обсуждение

На территории Беловежской пуши проводятся исследования по изучению биологического разнообразия видов в естественных условиях, благодаря чему там хорошо изучена фауна членистоногих, что очень удобно при проведении работ, связанных с энтомопатогенными микроорганизмами этой группы беспозвоночных. Помимо исследований энтомопатогенных грибов [16], и изучения факторов, ограничивающих размножение популяций короедов на ели и их питание на ясене, литературные данные о патогенах насекомых в Беловежской пуше имеют общий характер.

Работа по изучению распространения энтомопатогенных бактерий в популяциях насекомых проведена в Национальном парке «Беловежская пуша» в период маршрутных (1991 г., 2004–2009 гг.) обследований на территории Национального парка. Обследования проведены в 25 различных по своим ботаническим особенностям (смешанные леса, дубравы, сосновый бор, ельник кисличный, грабовый лес, крапивный ольшаник) кварталах Королево-Мостовского, Никорского и Хвойнического лесничеств Национального парка «Беловежская пуша». Изучены места локализации погибших насекомых и показано их присутствие в подстилке, травостое, поверхностном слое почвы, в подлеске и в кроне деревьев. Всего в пуше было собрано 147 образцов для выделения энтомопатогенных микроорганизмов и выделено 28 изолятов кристаллоносных бактерий *Bacillus thuringiensis* из насекомых различных систематических групп. В сборах присутствовали погибшие от бактериальной инфекции жуки (60 %), личинки жука-рогача (18 %), жужелицы (2 %), куколки листогрызущих гусениц (20 %).

Изучены биологические особенности выделенных в чистую культуру изолятов. Характерные для кристаллоносных бацилл колонии белого цвета, матовые, с неправильными контурами образуются через 48 часов культивирования. На 7–10-е сутки происходит лизис спорангиев и высвобождение спор и кристаллов. В мазках исходных культур изолятов присутствовали кристаллы, вегетативные клетки, морфологически соответствующие видовым характеристикам *Bacillus thuringiensis*. Микроскопический анализ культур после окрашивания (карболовый фуксин по Цилю) подтвердил типичные для кристаллоносных бацилл признаки – положительная окраска по Граму, форма вегетативных клеток и кристаллических включений.

Диагностика серовариантов на основании тестов по физиолого-биохимическим свойствам и Н-антигену (набор стандартных для *Bacillus thuringiensis* сывороток) проведена совместно с сотрудниками лаборатории насекомых и грызунов ВНИИСХМ (Санкт-Петербург). Были идентифицированы 28 штаммов кристаллоносных бацилл, идентичных разновидностям серотипов Н₁, Н_{3а3в}, Н_{4а4в}, Н₁₀.

Известно, что природные популяции энтомопатогенных микроорганизмов очень неоднородны. В популяции патогена существуют бактерии, которые различаются по множеству признаков, в конечном итоге определяющих степень вирулентности штаммов. Скрининг биологической активности проводили на широком круге фитофагов. В качестве тест-насекомых при первичном отборе использовали гусениц чешуекрылых вредителей, личинки жуков, ложногусениц пилильщиков. Выбор широкого спектра тест-объектов при оценке биологической активности связан с тем, что при дифференциации кристаллоносных бацилл целесообразно использовать несколько видов насекомых, реакция которых на патогенное действие определенных разновидностей серотипов специфична. Скрининг на тест-насекомых показал гетерогенность природных штаммов кристаллоносных бацилл по признаку вирулентности (табл. 1).

По результатам наших многолетних исследований штаммы кристаллоносных бактерий, выделенные из погибших насекомых, достаточно эффективны по отношению к насекомым вредителям. Разнообразие биологически активных веществ, выделяемых кристаллоносными бактериями в процессе роста, дает основание считать, что бактериальные препараты на основе *B. thuringiensis* могут обладать широким спектром действия.

Проведена серия опытов по оценке биологической активности опытных образцов препаратов на основе бактерий по отношению к комплексу листогрызущих гусениц. В опытах использовали физиологически однородных гусениц природных популяций листовертки: плодовая листовертка (*Hedya dimidioabana* Rets), розанная листовертка (*Archips rosana* L), вертунья почковая (*Spilonota ocellana* Den. et SHIFF) и зимняя пяденица (*Operophtera brumata* L). При проведении опытов учитывали гибель фитофагов на стадии гусениц и активность питания гусениц (% повреждения листовой пластин-

ки). Для определения активности питания зараженных и контрольных гусениц проводили учет поврежденности листьев за период от начала заражения до окукливания. Результаты опытов показали, что более чувствительны к штаммам бацилл гусеницы листоверток (50–90%), гибель гусениц зимней пяденицы колебалась от 12,5 до 62,5 %. Процент повреждения листьев яблони зараженными гусеницами снижается уже в первые дни после обработки и продолжается весь период питания. Общее количество съеденного корма (в пересчете на одну гусеницу) в контроле выше, чем в вариантах, с обработанными листьями. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 1

Биологическая активность природных штаммов *Bacillus thuringiensis* (титр $0,5 \times 10^9$ спор/мл) для фитофагов

Источник выделения, систематическое положение насекомого	Коллекционный № штамма	Серотип по H-антигену	Серовариант	Гибель тест-насекомого, %					
				<i>Lepidotarsa decemlineata</i>	<i>Byturus tomentosus</i>	<i>Mamestra brassicae</i>	<i>Abraxas grossulariata</i>	<i>Dolerus haemotodes</i>	<i>Operophtera brumata</i>
Кистехвост <i>Orgia antiqua</i> L.	12-91	H ₁	<i>thuringiensis</i>	100,0	—	81,6	—	48,0	87,2
Жук-рогач (куколка) сем. <i>Lucanidae</i>	15-91	H _{4a4b}	<i>dendrolimus</i>	69,9	76,6	16,6	90,0	48,8	74,9
Жук-рогач (личинка) сем. <i>Lucanidae</i>	16-91	H _{3a3b}	<i>kurstaki</i>	81,6	100,	36,0	75,0	—	88,2
	13-91	H _{3a3b}	<i>kurstaki</i>	38,3	63,3	65,3	21,0	—	67,6
Жук-рогач (имаго) сем. <i>Lucanidae</i>	18-91	H _{4a4b}	<i>dendrolimus</i>	91,3	26,0	30,3	38,4	32,2	89,7
Жук-усач <i>Taxotus cursor</i> L.	24-91	H ₁₀	<i>darmstadiensis</i>	96,7	60,0	63,3	56,2	39,7	67,6
Жужелица <i>Carabidae</i> spp.	22-91	H ₁₀	<i>darmstadiensis</i>	91,3	60,0	67,0	64,6	48,6	62,2
Капустная совка <i>Mamestra brassicae</i> L	25-91	H _{4a4b}	<i>dendrolimus</i>	80,8	73,3	82,7	—	12,0	56,9
Щелкун <i>Agriotes</i> sp.	26-91	H _{4a4b}	<i>dendrolimus</i>	69,6	83,3	74,2	28,8	75,8	70,3
Зерновой пилильщик <i>Dolerus haemotodes</i> Schr.	4-C8	H _{4a-4b}	<i>dendrolimus</i>	45,0	56,8	86,6	64,2	—	65,8
Зимняя пяденица <i>Operophtera brumata</i> L.	C19	H ₁	<i>thuringiensis</i>	80,9	84,0	68,8	—	81,4	74,9

Таблица 2

Биологическая активность штаммов кристаллоносных бацилл *Bacillus thuringiensis* по отношению к комплексу листогрызущих гусениц

Название штамма, титр $1-3 \times 10^8$ спор/мл	Зимняя пяденица		Комплекс листоверток	
	Гибель гусениц, %	Количество корма /1 гусеницу, %	Гибель гусениц, %	Количество корма /1 гусеницу, %
22-91	50,0	8,0	70,0	24,6
25-91	34,5	21,8	60,0	11,5
16-91	50,0	12,2	90,0	10,3
15-91	12,5	34,6	60,0	44,8
C-19	25,5	16,3	80,0	17,0
19-91	62,5	6,8	50,0	19,5
Контроль	0	58,9	0	44,1

Известно, что при заражении энтомопатогенными бактериями, у чувствительных насекомых возникает целый ряд физиологических отклонений, которые влияют на их дальнейшее развитие. В процессе метаморфоза погибают не только гусеницы, жуки, ложногусеницы вредителей, но куколки и имаго перед вылетом. С учетом последствий бактериальных патогенов на популяцию вредителей в целом суммарный защитный эффект намного выше.

Были проведены исследования по оценке последствий штаммов *Bacillus thuringiensis* на популяцию листогрызущих вредителей на примере вредителя смородины – пилильщика желтого смородинного (*Pteronidea leucotrochus* Hartig.). В опыте по оценке биологической активности штаммов наряду с гибелью гусениц (при обработке препаратом листьев смородины) исследовали их влияние на вредителя в период метаморфоза. В результате исследований установлено, что циркуляция патогенов от фазы ложногусеницы к имаго) увеличивает общую гибель вредителей.

Как видно из результатов, представленных на рис. 1, независимо от видовой принадлежности штамма, суммарная гибель фитофагов с учетом тератогенного действия значительно выше гибели гусениц. Изучение биологической активности штаммов по отношению к ложногусеницам желтого смородинного пилильщика показало, что высокий суммарный эффект отмечен для штаммов 25-91, 15-91, 16-91, С-19.

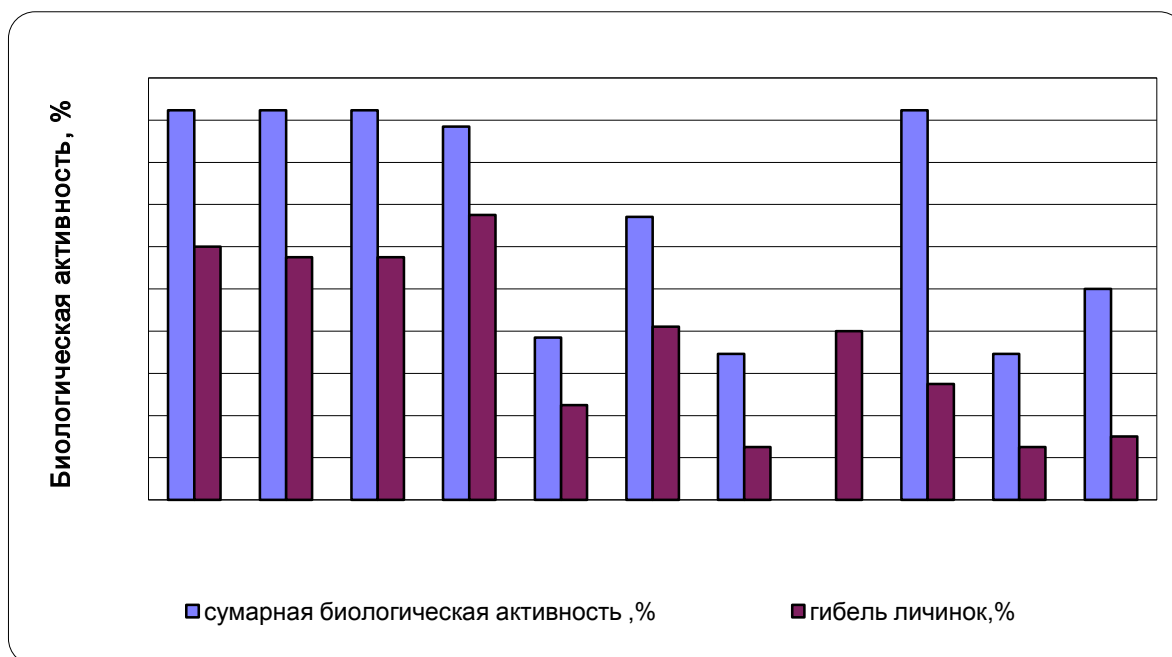


Рисунок 1 – Влияние штаммов *Bacillus thuringiensis* на пилильщика желтого смородинного *Pteronidea leucotrochus* Hartig в период метаморфоза

Это полезное свойство кристаллоносных бацилл имеет технологическую перспективу, так как хорошо разработаны методы селекции и промышленного производства микробиологических препаратов на их основе. В Республике Беларусь в совместной работе сотрудников РУП «Институт защиты растений» и ГУ «Институт микробиологии НАН Беларуси» созданы отечественные бактериальные препараты на основе различных серовариантов спорообразующей бактерии *Bacillus thuringiensis* для защиты растений от вредителей: Колептерин (*Bacillus thuringiensis* subst. *thuringiensis*), Бацитурин (*Bacillus thuringiensis* subst. *darmstadiensis*), Бактоцид (*Bacillus thuringiensis* subst. *kurstaki*).

Особенно актуально использование биологических препаратов в защите леса, так как сохранение лесов в относительно естественном состоянии считается основным показателем качественного состояния природных экосистем. Среди природных ресурсов Республики Беларусь леса занимают особое положение. Защита леса биологическими препаратами - важнейшая часть программ по охране окружающей среды и рациональному природопользованию. Наиболее широко в защите лесных насаждений от листогрызущих вредителей используются бактериальные препараты. Для биологического обоснования использования биопрепаратов в защите леса на первом этапе изучена чувствительность фитофагов к действию кристаллоносных бацилл.

Спектр действия бактериального препарата Бацитурин паста оценили на широко распространенных листогрызущих вредителях лесных культур зимняя пяденица (*Operophtera brumata* L.), *Tortrix viridana* L., *Euproctis chrysorrhoea* L., *Erannis defoliaria* Cl. в условиях вегетационного опыта на листьях дуба *Quercus robur* L. Результаты экспериментов по оценке биологической активности биопрепарата Бацитурин на листогрызущих вредителях представлены в табл. 3.

Оценка чувствительности листогрызущих вредителей к биологическому препарату Бацитурин, пс. показала высокую восприимчивость гусениц зимней пяденицы *Operophtera brumata* L. (биологическая активность – 93,7–100 %), чувствительность пяденицы-обдирало (*Tortrix viridana* L.) к препарату составила 80,9–85,7 %. Наиболее устойчивыми к бацитурину оказались гусеницы золотузки (*Euproctis chrysorrhoea* L.), как показывают данные таблицы их гибель колебалась от 40,0 до 57,5 %. Активность питания зараженных бактериальным препаратом насекомых, значительно отличались от контрольных, так в контрольном варианте поврежденность листьев составила 100 %.

Чувствительность листогрызущих гусениц к биологическому препарату Бацитурин, пс.

Вариант опыта, концентрация препарата, %	Гибель гусениц по видам, %			Поврежденность листьев дуба, %
	<i>Operophtera brumata</i> L.	<i>Tortrix viridana</i> L.	<i>Euproctis chrysorrhoea</i> L.	
Бацитурин, пс. 1,0	93,7	80,9	40,0	2,5–27,5
Бацитурин, пс. 2,0	100,0	85,7	57,5	1,0–14,0
Контроль	–	–	–	100

Выводы

1. По результатам многолетних обследований биотопов Беловежской пуши с листовым лесом, в котором преобладали липа, дуб, клён, граб, вяз и ясень собрано 147 образцов погибших насекомых для выделения кристаллоносных бацилл. Из насекомых природных популяций зимней пяденицы (*Operophtera brumata* L.), пяденицы обдирало (*Eranis defoliaria* Cl.), яблонной плодовой гусеницы (*Laspeyresia pomonella* L.), капустной совки (*Mamestra brassicae* L.), жука-носорога (*Oristes nasicornis* L.), уховертки обыкновенной (*Forticula auricularia* L.), шелкоунов (*Agriotes* sp.), плодового долгоносика (*Phyllobius oblongus* L.), яблонного цветоеда (*Antonomus pomorum* L.), волнянки античной (*Orgia Antiqua* L.), жужелиц (*Carabidae* spp.) выделены изоляты и идентифицированы 28 штаммов кристаллоносных бацилл, идентичных разновидностям серотипов Н₁, Н_{3а3в}, Н_{4а4в}, Н₁₀.

2. Скрининг биологической активности штаммов кристаллоносных бацилл в отношении фитофагов показал высокую биологическую активность по отношению к листогрызущим вредителям лесных насаждений – зимняя пяденица (*Operophtera brumata* L., пяденица-обдирало (*Tortrix viridana* L.), златогузка (*Euproctis chrysorrhoea* L.). Установлено последствие штаммов *Bacillus thuringiensis* в период метаморфоза насекомых на примере вредителя смородины - пилильщика желтого смородинового (*Pteronidea leucotrochus* Hartig.). Циркуляция патогенных бацилл от фазы ложногусеницы к имаго увеличивает общую гибель вредителя и суммарный эффект значительно выше.

Список литературы

1. Гельтман, В. С. Положение Беловежской пуши в системе геоботанического и лесорастительного районирования Белоруссии и Польши / В. С. Гельтман, В. П. Романовский // Беловежская пуца: Исследования. – Минск, 1971. – Вып. 4. – С. 3–9.
2. Кандыбин, Н. В. Микробиологический контроль численности насекомых и его доминанта *BACILLUS THURINGIENSIS* / Н. В. Кандыбин [и др.] // Санкт-Петербург, Пушкин, 2009. – 244 с.
3. Берриман, А. Защита леса от насекомых-вредителей / Пер. с англ. В. Г. Долгополова – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
4. Воронцов, А. И. Биологическая защита леса / А. И. Воронцов // Лесная промышленность. – М., 1984. – 264 с.
5. Кандыбин, Н. В. Экологические принципы применения *Bacillus thuringiensis* для контроля численности вредных насекомых / Н. В. Кандыбин, О. В. Смирнов // Персистентность и эффективность инсектицидных микроорганизмов в биоценозах: материалы симпозиума. ВПС-МОББ, Познань, 11–16.04. 1987 г. – Познань, 1988. – С. 38–55.
6. Миненкова, И. Б. Характеристика штаммов *Bacillus thuringiensis*, выделенных в различных климато-географических регионах России / И. Б. Миненкова // Биотехнология. – 2002. – № 6 – С. 11–16.
7. Голышин, А. Э. Роль *Bacillus thuringiensis* в природных биоценозах / А. Э. Голышин. // Микробиологический журнал. – 1993. – № 3. – Т. 55. – С. 104–110.
8. Karpinski, J. J. Przyczyny ograniczajace rozmnozanie kornikow drukarzy (*Jps typographus* L. i *Ips duplicatus* Salhb.) w lesie pierwotnym / J. J. Karpinski // Prace Inst. Badaw. Lasow Panstwowych. Ser. A. – 1935. – № 15. – 86 s.
9. Balazy, S., Bargielski J., Ziolkowski G., Czerwinska C. Smiertelnosc doroslych chrzosczy kornika drukarza *Ips typographus* (L.) (*Col. Scolytidae*) w zerowiskach i jej przyczyny. / S. Balazy, J. Bargielski, G. Ziolkowski, C. Czerwinska // Pol. Pismo Ent. – 1967. – Т. 37. – № 1. – S. 201–205.
10. Король, И. Т., Штамм для изготовления энтомопатогенного бактериального препарата / И. Т. Король, Л. И. Прищепа // Изобретение. – N1116566. – 1984
11. Прищепа, Л. И. Распространенность энтомопатогенных микроорганизмов и нематод в биоценозах Беларуси / Л. И. Прищепа, Н. И. Микульская, В. А. Канапацкая // Защита растений: сб. науч. тр. Белорус. НИИ защиты растений. – Минск, 1998. – Вып. 22. – С. 46–56.
12. Прищепа Л. И., Распространение серотипов *Bacillus thuringiensis* в Республике Беларусь и перспективы их использования для защиты растений. / Л.И. Прищепа, Н.В. Евсегнеева // Тез. докл.

конф. «Защита растений в условиях реформирования агропромышленного комплекса: экономика, эффективность, экологичность». – Санкт-Петербург, 1995. – С. 359–360.

13. Вейзер, Я. Микробиологические методы борьбы с вредными насекомыми / Я. Вейзер // М: Колос, 1972. – 639 с.

14. Прищепа, Л. И. Поиск, сбор и определение энтомопатогенных микроорганизмов и нематод / Л. И. Прищепа, В. А. Канапацкая, Н. И. Микульская // Методические указания. – Минск, 1998. – 23 с.

15. Прищепа, Л. И. Методические указания по проведению регистрационных испытаний био-препаратов для защиты растений от вредителей и болезней / Л. И. Прищепа, Н. И. Микульская, Д. В. Войтка // Несвиж, 2000. – 56 с.

16. Maewski, T. The Laboulbeniales of Poland / T. Maewski // Polish Botanical Studies 7. – Krakow, 1994. – P. 466.

L. I. Pryshchepa, I. A. Pryshchepa

ENVIRONMENTAL FEATURES ENTOMOPATHOGENIC BACTERIA *BACILLUS THURINGIENSIS*, ISOLATED IN ECOSYSTEMS THE NATIONAL PARK "BELOVEZHSKAYA PUSHCHA"

*The forest of the National Park "Bialowieza Forest" is the oldest nature reserve in Europe, the natural reserve of natural forests and their biodiversity and genetic resources of forest tree species. Conservation of forests in a relatively natural state, the richness of flora and fauna, the diversity of ecosystems, the situation in the system of natural complexes of Europe, determine the value of the forest as an object of research in the fields of biology, ecology, biodiversity, including entomopathogenic microorganisms. Of particular interest are entomopathogenic *Bacillus thuringiensis*, which are able to synthesize a number of biologically active substances, causing bacillary virulence against a broad range of phytophagous and adaptation in different ecosystems. Isolation from natural sources of active strains of bacteria, insect pest controllers remains an urgent problem in terms of identifying their natural diversity, is not fully studied to date, including Republic of Belarus.*

*Research to find dead insects to isolate entomopathogenic bacilli conducted in 25 forest blocks with different types of vegetation, studied localization of arthropods, and shows their presence in the litter, herbage, the surface layer of the soil, in the undergrowth. To analyze the collected 147 samples isolated isolates of *Bacillus thuringiensis*, held species identification, assessed the insecticidal properties against phytophages.*

Н. И. Дроздова, Т. В. Макаренко, Е. В. Куртасова

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
г. Гомель, Республика Беларусь*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

Выполнена процедура множественной корреляции и регрессии и получены уравнения линейной регрессии Пирсона для прогнозных расчетов активности ферментов (полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПО)) в условиях промышленных зон. Предложенные адекватные статистические модели расчета активности почвенных ферментов характеризуются высокой степенью достоверности и могут быть использованы в указанном диапазоне измерений независимых признаков для оценки эколого-химического состояния загрязненных территорий.

➤ **Ключевые слова:** *тяжелые металлы, почвы, почвенные ферменты, полифенолоксидазы, пероксидазы, множественная корреляция, регрессия.*

Введение

Прогноз загрязнения объектов биосферы в условиях интенсивного антропогенного воздействия является необходимым этапом решения комплекса проблем, связанных с организацией жизни населения на этой территории. Методы и модели, применяемые для решения этой задачи, базируются на экспериментальных данных о содержании тяжелых металлов в почве и растительности.

В условиях возросшей антропогенной нагрузки на биосферу, почва, являясь элементом природной системы и находясь в динамическом равновесии со всеми другими компонентами, подвергается деградационным процессам. Потоки веществ, попадая в почву, включаются в естественные циклы, нарушая нормальное функционирование почвенной биоты, и, как следствие, всей почвенной системы. Среди различных биологических критериев оценки антропогенного влияния на почвы наиболее оперативными и перспективными являются биохимические показатели, дающие сведения о динамике важнейших ферментативных процессов в почве. В каждом типе почвы в зависимости от условий накапливается определенная совокупность микроорганизмов и биоты, которые являются основными источниками ферментов. Интенсивность ферментативных процессов зависит от конкретных условий: наличия и концентрации субстрата, температуры, влажности, значений рН и др.

В настоящее время биологический критерий нашел широкое применение в ряде европейских государств в системе мониторинга состояния почвенного покрова. Это связано с тем, что ферментативная активность, как один из показателей потенциальной активности почв, характеризующий способность системы сохранять гомеостаз, изменяется ранее других показателей при техногенном воздействии. Успешному использованию ферментативного метода для индикации загрязнения почвы тяжелыми металлами способствует так же то важное обстоятельство, что определение активности ферментов имеет достаточно высокую точность: ошибка для гидролаз составляет не более 5 %, для оксидоредуктаз – не более 8 % [1–3]. Таким образом, преимуществом использования биологических критериев индикации является не только возможность быстрого определения изменений в экосистемах на очень ранних стадиях, но и возможность прогнозирования степени и направленности изменений, происходящих в них.

В литературе описываются результаты изучения влияния тяжелых металлов на ферментативную активность почв различных типов, но данные не носят системного характера и не отражают ситуацию, характерную для почвенных условий Беларуси, в том числе, практически отсутствуют данные по изучению активности почвы промышленных территорий. Интерес к исследованию активности полифенолоксидазы и пероксидазы обусловлен их участием в процессах гумификации.

Результаты исследований

Цель работы: изучить взаимодействия в системе «тяжелые металлы – почва – биологическая активность» с целью последующей разработки моделей для прогнозирования изменений в состоянии почвенного покрова в условиях промышленного загрязнения.

Объектом исследования служили образцы дерново-подзолистых почв, отобранных в промышленных зонах г. Гомеля (ОАО «Ратон» и ОАО «Гомельский химический завод»).

Методы исследования: масс-спектрометрический метод определения тяжелых металлов в почвенных образцах, титриметрический метод определения активности полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПО) по методу Козлова [1], титриметрический метод определения органического вещества по Тюрину, фотоколориметрический метод определения подвижного фосфора по Кирсанову [4].

Отбор проб проводился в соответствии ГОСТ 17.4.3.01-83 [5], ГОСТ 28168-89 [6]. При закладке пробных площадок выделяли участки с доминирующим типом растительных группировок (сем. Мятликовые и Бобовые). Пробы отбирали почвенным буром с глубины 0–20 см. На каждой пробной площадке отбирали пять проб пробоотборником, из которых составляли среднюю пробу.

В табл. 1 представлен диапазон варьирования значений кислотности почвенных образцов, содержания органического вещества, подвижных фосфатов, подвижных форм меди, цинка, свинца и кадмия ($C_{\text{подв}}$), характерные для образцов из исследуемых промышленных зон.

Таблица 1

Физико-химические показатели состояния почв и содержание подвижных форм металлов

Показатели	Минимальное значение	Максимальное значение
pH	3,78	7,05
Гумус, %	0,41	3,31
P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	0,61	63,35
C _{подв} Cu, мг/кг	0,91	20,40
C _{подв} Zn, мг/кг	4,28	86,85
C _{подв} Pb, мг/кг	1,82	28,28
C _{подв} Cd, мг/кг	0,02	0,12

Исследования биологической активности проводили в образцах летнего (июнь) и осеннего периода отбора (сентябрь). При этом для почвы в районе ОАО «Ратон» активность полифенолоксидазы и пероксидазы варьировалась в пределах 2,04–2,78 мг I₂/г почвы и 7,98–12,5 мг I₂/г почвы соответственно. В литературе указывается [2], что для супесчаных почв активность данных ферментов в среднем составляет 1,8–2 мг I₂/г почвы. Таким образом, установлено, что активность пероксидазы имеет повышенные значения, что, в свою очередь, определяет низкое значение индекса гумификации почвы – 0,18–0,25. Такие значения говорят о возможном преобладании процессов распада гумуса над синтезом. Достоверных сезонных различий в активности исследуемых ферментов на участке в районе ОАО «Ратон» за период наблюдений не установлено.

В образцах почвы, отобранных в районе ОАО «Гомельский химический завод» значение активности пероксидазы (8,28–12,90 мг I₂/г почвы) существенно превышало показатели активности полифенолоксидазы (2,24–2,50 мг I₂/г почвы). В связи с этим условный индекс гумификации изменялся в пределах от 0,17 до 0,30, что также указывает на преобладание процессов распада органического вещества почвы. Статистически достоверных различий в сезонной активности ферментов не установлено.

Последующий анализ предполагал определение формы распределения всех рассматриваемых параметров в почве. Все распределения удовлетворяли условиям логарифмически нормального распределения. В последующем исходная информация о ферментативной активности почвы, ее физико-химических характеристиках и содержании тяжелых металлов была подвергнута статистической обработке [7, 8] по определению корреляционной связи между указанными параметрами (табл. 2). При этом создан единый обрабатываемый массив, включающий параметры по всем промышленным площадкам. Все полученные значения парных коэффициентов корреляции достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$ и указывают на наличие как прямой, так и обратной корреляционной связи различной силы между рассматриваемыми параметрами.

Таблица 2

Коэффициенты парной корреляции

Переменная	Cu	Zn	Pb	Cd	P ₂ O ₅	pH	Гумус	ПО	ПФО
Cu	1,00	0,76	0,61	0,67	-0,54	0,56	-0,70	-0,83	-0,80
Zn	0,76	1,00	0,73	0,74	-0,54	0,63	-0,72	-0,69	-0,69
Pb	0,61	0,73	1,00	0,74	-0,56	0,71	-0,65	-0,64	-0,62
Cd	0,67	0,74	0,74	1,00	-0,50	0,70	-0,64	-0,78	-0,79
P ₂ O ₅	-0,54	-0,54	-0,56	-0,50	1,00	-0,50	0,12	0,43	0,51
pH	0,56	0,63	0,71	0,70	-0,50	1,00	-0,65	-0,81	-0,89
Гумус	-0,70	-0,72	-0,65	-0,64	0,12	-0,65	1,00	0,78	0,75
ПО	-0,83	-0,69	-0,64	-0,78	0,43	-0,81	0,78	1,00	0,78
ПФО	-0,80	-0,69	-0,62	-0,79	0,51	-0,89	0,75	0,78	1,00

Одним из факторов, оказывающих влияние на активность почвенных ферментов, является содержание в почве соединений тяжелых металлов, которые в высоких концентрациях могут ингибировать протекание биохимических процессов. В предлагаемую модель для возможной первичной оценки биологической активности почвы нами включены не только концентрации тяжелых металлов, но и факторы, оказывающие влияние на их подвижность (рН среды, содержание подвижных фосфатов и органического вещества).

Таблица 3

Коэффициенты парной и частной корреляции между активностью ферментов (ПФО и ПО) и физико-химическими показателями состояния почв

Переменные	Парная корреляция				Частная корреляция			
	r(X,Y)	r ²	t	p	r(X,Y)	r ²	t	p
ПФО / Cd	-0,779	0,607	-13,03	<0,001	-0,353	0,725	-3,853	<0,001
ПФО / Pb	-0,644	0,415	-8,84	<0,001	-0,291	0,495	-3,103	0,002
ПФО / Cu	-0,827	0,684	-15,44	<0,001	-0,312	0,759	-3,352	0,001
ПФО / Zn	-0,692	0,479	-10,06	<0,001	0,096	0,695	0,985	0,327
ПФО / рН	-0,771	0,594	-12,70	<0,001	-0,020	0,735	-0,204	0,839
ПФО / Гумус	0,756	0,571	12,11	<0,001	0,353	0,593	3,852	<0,001
ПФО / P ₂ O ₅	0,671	0,450	9,48	<0,001	0,256	0,455	2,698	0,008
ПО / Cd	-0,781	0,609	-13,10	<0,001	-0,265	0,725	-2,806	0,006
ПО / Pb	-0,620	0,384	-8,29	<0,001	-0,241	0,495	-2,535	0,013
ПО / Cu	-0,804	0,646	-14,16	<0,001	-0,202	0,759	-2,099	0,038
ПО / Zn	-0,693	0,481	-10,09	<0,001	0,060	0,695	0,611	0,542
ПО / рН	-0,830	0,688	-15,58	<0,001	-0,337	0,735	-3,652	<0,001
ПО / Гумус	0,706	0,498	10,44	<0,001	0,119	0,593	1,219	0,226
ПО / P ₂ O ₅	0,680	0,462	9,72	<0,001	0,300	0,455	3,206	0,002

В табл. 3 приведены значения парных коэффициентов корреляции между зависимыми признаками (биологической активности почвы) и независимыми (Cu, Zn, Pb, Cd, P₂O₅, рН, гумус), взятыми в последующие расчеты. Все полученные значения парных коэффициентов корреляции достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Полученные значения показывают, что тяжелые металлы в пределах концентраций, представленных в табл. 1, достоверно влияют на активность полифенолоксидазы и пероксидазы. Это может быть связано с их ингибирующим влиянием на структуру активных центров ферментов. Графическая интерпретация корреляционной связи между содержанием тяжелых металлов и активностью полифенолоксидазы и пероксидазы, полученных в экспериментах, приведена на рис. 1–4.

Линии регрессий аппроксимируются прямолинейной функцией Пирсона типа:

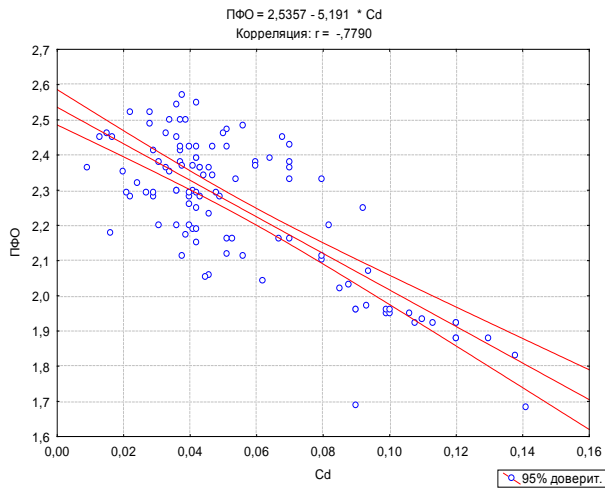
$$C_i = a + b \cdot C_j,$$

где C_i – значения активности почвенных ферментов ПФО, ПО (мл I₂/г почвы); C_j – концентрация тяжелых металлов в почве (Cu, Zn, Pb, Cd) – мг/кг; a – свободный член уравнения регрессии; b – коэффициент регрессии [7, 8].

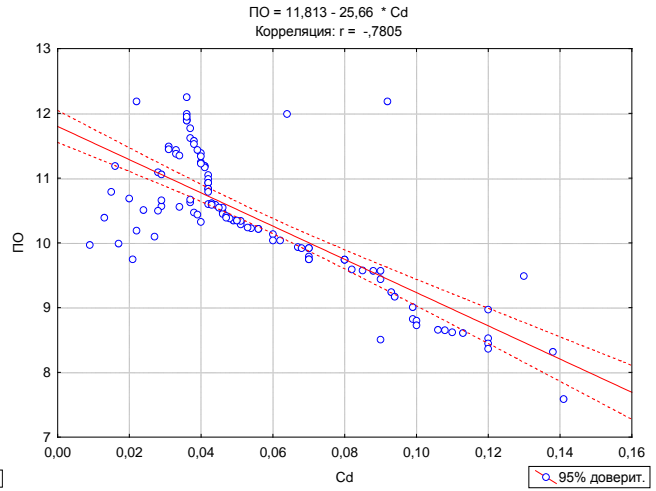
Так как представленные уравнения и коэффициенты регрессии достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$, это обстоятельство позволяет провести более глубокий статистический анализ: процедуру множественной корреляции и регрессии. Результативным признаком (зависимая переменная) являются значения одного из показателей ферментативной активности почв (C_i). Независимыми переменными – физико-химические показатели (C_{P2O5} , C_{pH} , C_{Gumus}) и концентрация всех рассматриваемых нами тяжелых металлов, так как загрязнение почв промышленных зон обычно носит полиэлементный характер:

$$C_{polyfenoloxidasas} = f(C_{Cu}, C_{Zn}, C_{Pb}, C_{Cd}, C_{P2O5}, C_{pH}, C_{Gumus})$$

$$C_{Peroxidasas} = f(C_{Cu}, C_{Zn}, C_{Pb}, C_{Cd}, C_{P2O5}, C_{pH}, C_{Gumus}).$$

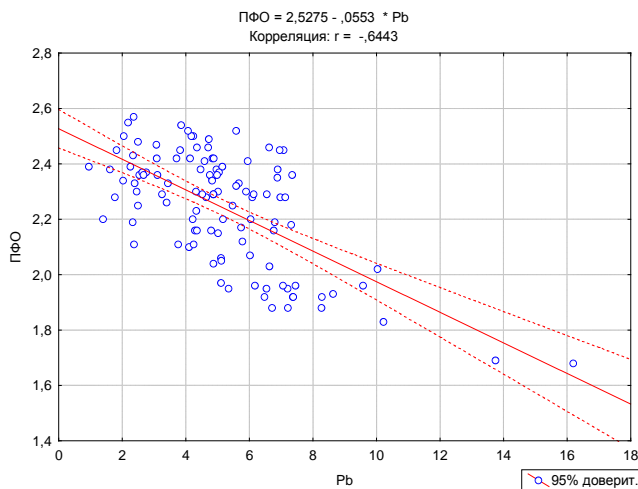


а – полифенолоксидаза

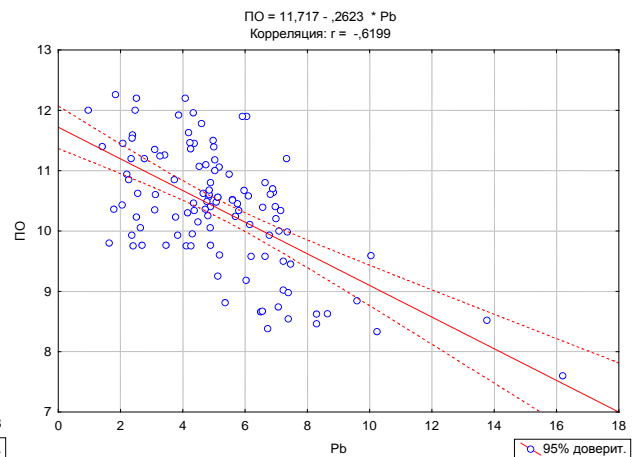


б – пероксидаза

Рисунок 1 – Поле регрессии корреляционной связи между содержанием кадмия и биологической активностью почвы

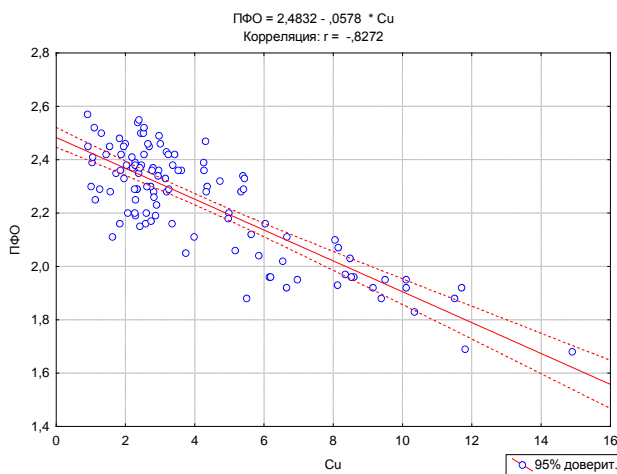


а – полифенолоксидаза

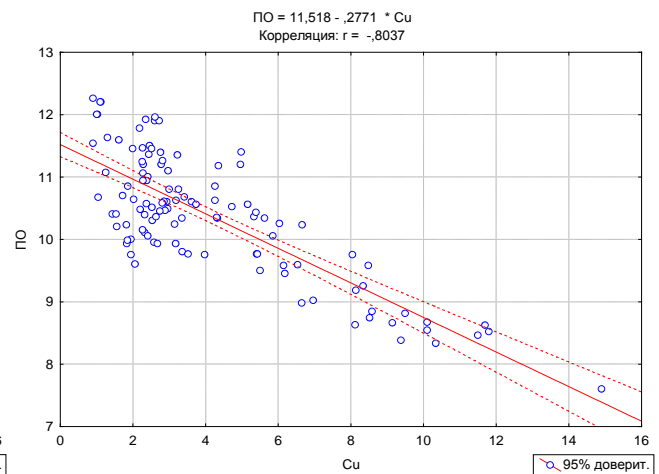


б – пероксидаза

Рисунок 2 – Поле регрессии корреляционной связи между содержанием свинца и биологической активностью почвы

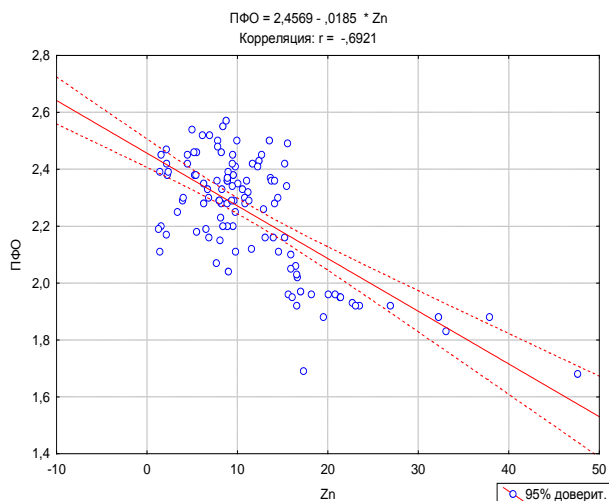


а – полифенолоксидаза

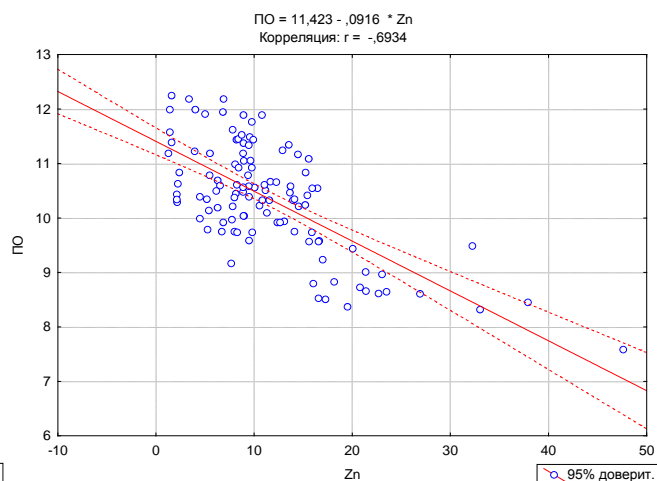


б – пероксидаза

Рисунок 3 – Поле регрессии корреляционной связи между содержанием меди и биологической активностью почвы



а – полифенолоксидаза



б – пероксидаза

Рисунок 4 – Поле регрессии корреляционной связи между содержанием кадмия и биологической активностью почвы

Результаты статистической обработки, приведенные в табл. 4, включают значения множественной корреляции (R), эмпирический F-критерий, уровень значимости и числовые значения коэффициентов в уравнении регрессии, представленного линейными уравнениями Пирсона:

$$C_i = a + b \cdot C_{Cd} + c \cdot C_{Pb} + d \cdot C_{Cu} + e \cdot C_{Zn} + f \cdot C_{pH} + g \cdot C_{Gumus} + h \cdot C_{P2O5},$$

где C_i – показатель биологической активности почв (ПФО и ПО, мл I_2 /г почвы); C_j – концентрация тяжелых металлов в почве (Cu, Zn, Pb, Cd), гумуса, подвижного фосфора, значение pH; $a-h$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Таблица 4

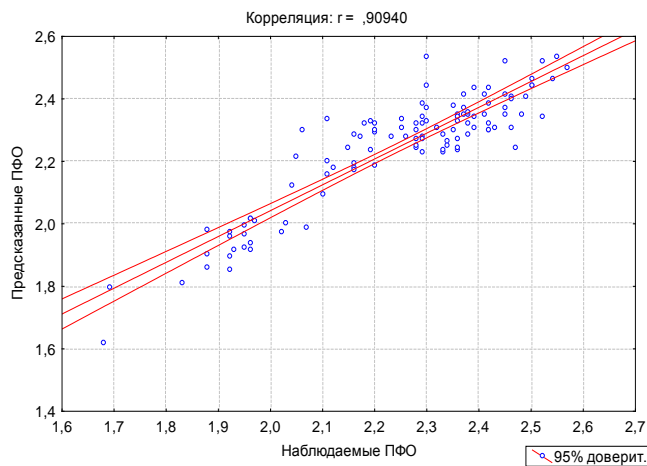
Значения коэффициентов множественной корреляции и регрессии

Актив-ность	R	F	p								
				a	b	c	d	e	f	g	h
ПФО	0,909	64,9	<0,01	2,22	-1,998	-0,015	-0,019	0,0019	-0,017	0,114	0,00035
ПО	0,902	64,9	<0,01	12,2	-7,45	-0,064	-0,062	0,0062	-0,317	0,185	0,0021

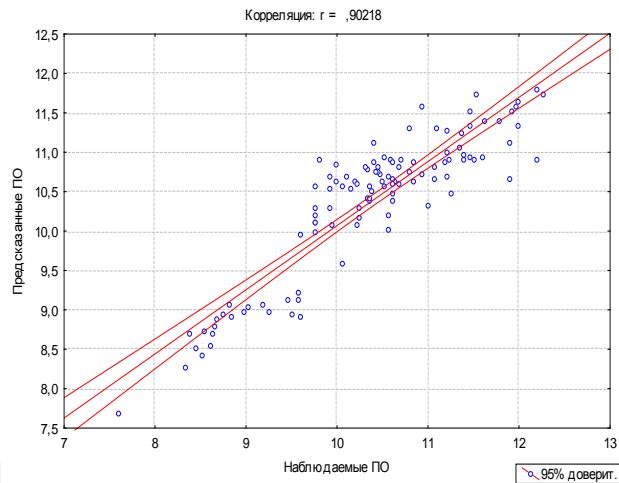
Из представленных в табл. 3 данных следует, что коэффициенты множественной корреляции имеют высокое значение 0,90–0,91, $F \geq F_{st}(2,18)$ при уровне значимости $p \leq 0,05$. Таким образом, нулевая гипотеза об отсутствии корреляции отвергается ($H_0: R = 0$) и принимается альтернативная гипотеза, свидетельствующая о достоверности корреляции и регрессии между рассматриваемыми переменными. Предложенная модель может служить для предварительной первичной оценки биологической активности почвы промышленной зоны. Для более глубокого анализа при изучении связи факторов с результирующими признаками и совершенствования модели требуется проведение дополнительных исследований.

Проверка адекватности моделей, предложенных для оценки активности в почве ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы, представлена на рис. 5.

Для получения дополнительной информации об адекватности построенной модели многомерной линейной регрессии использовался анализ регрессионных остатков (рис. б).



a – полифенолоксидаза



б – пероксидаза

Рисунок 5 – Адекватность модели для расчета активности полифенолоксидазы (*a*) и пероксидазы (*б*) в почве

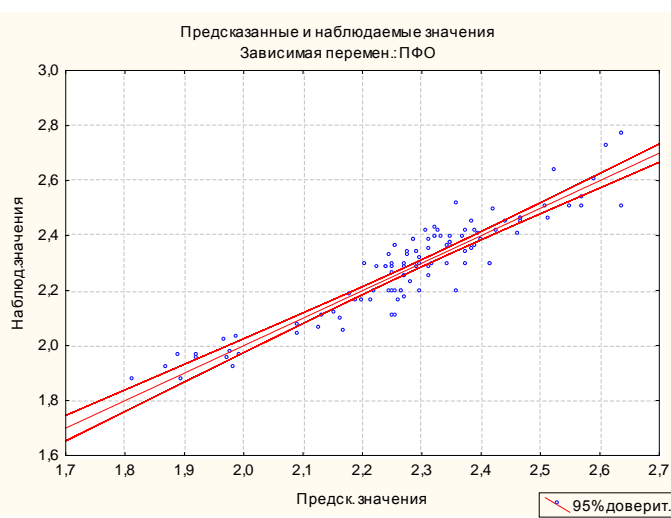
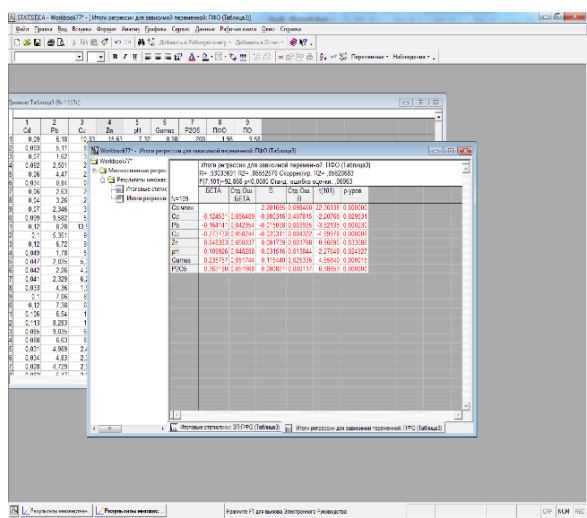


Рисунок 6 – Проверка адекватности модели по результатам анализа остатков

Заключение

Для дерново-подзолистых почв промышленных зон г. Гомеля, испытывающих различную техногенную нагрузку, установлены значения активности почвенных ферментов. Диапазон варьирования активности ферментов для площадок ОАО «Гомельский химический завод» составлял для пероксидазы 8,28–12,90 мг I₂/г почвы, для полифенолоксидазы – 2,24–2,50 мг I₂/г почвы. Аналогичные показатели для пробных площадей в районе ОАО «Ратон» составляли соответственно 7,98–12,5 мг I₂/г почвы и 2,04–2,78 мг I₂/г почвы. Полученные данные позволили рассчитать условные индексы гумификации (0,17–0,30), свидетельствующие о преобладании процессов распада органического вещества над его синтезом в почвах промышленных зон.

На основании полученного массива данных выполнена процедура множественной корреляции и регрессии, в результате чего получены уравнения линейной регрессии Пирсона, которые могут быть использованы для выполнения первичных прогнозных расчетов активности ферментов (ПФО и ПО) в условиях промышленных зон. Полученные статистические модели могут быть использованы в представленном диапазоне измерений независимых признаков (рН, содержание органического вещества, подвижного фосфора, подвижных форм тяжелых металлов) для первичной прогнозной оценки биологической активности почвы промышленных территорий. Для распространения действия данных моделей на земли иного назначения необходимы дополнительные исследования.

Основываясь на результатах наблюдений и экспериментальных данных, полученных авторами в период 2014–2015 гг. при выполнении задания 5.3.21 подпрограммы 2.5. «Природно-ресурсный потенциал» ГПНИ «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал» (№ государственной регистрации подзадания 20141249), необходимо отметить, что активность почвенных ферментов окси-

доредуктаз (ПФО и ПО) незначительно изменялась в зависимости от условий гидрологического режима и достоверно коррелировала с уровнем загрязнения почвы тяжелыми металлами. Это обосновывает необходимость дальнейшего изучения вопроса о влиянии факторов различной природы на биологическую активность почвы в условиях промышленного загрязнения.

Список литературы

1. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. М.: Наука, 2005. – 252с.
2. Хазиев, Ф. Х. Почвенные ферменты / Ф. Х. Хазиев. – М.: Знание, 1972. – 257 с.
3. Хазиев, Ф. Х. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения / Ф. Х. Хазиев, А. Е. Гулько // Почвоведение. – 1991. – № 8. – С. 88–103.
4. Минеев, В. Г. Практикум по агрохимии: учеб. пособие для ун-тов по спец. «Агрохимия и почвоведение» / В. Г. Минеев. – Москва: МГУ, 1989. – 303 с.
5. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – Введен 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
6. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. – Введен 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.
7. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Наука, 1983. – 245 с.
8. Жученко, Ю. М. Информационные технологии в биологии и химии. / Ю. М. Жученко. – Гомель, УО ГГУ им Ф. Скорины, 2010. – 148 с.

N. I. Drozdova, T. V. Makarenko, E. V. Kurtasova

EXPERIMENTAL SIMULATION OF INTERACTIONS IN THE SYSTEM: HEAVY METALS – SOIL – THE ACTIVITY OF ENZYMES

The procedure of multiple correlation and regression has been carried out as well as Pearson linear regression equations for predictive calculations of enzyme activity (polyphenol oxidase and peroxidase) were obtained in industrial zones. The proposed adequate statistical models for calculating of soil enzymes activity (polyphenol oxidase and peroxidase) can be characterized by a high reliability degree and used in the specified range of independent attributes measurement for assessment of ecological and chemical status of the contaminated areas.

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 519.245; 539.125.52

Д. И. Комар

*Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПОМЕЩЕНИЯ УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНОЙ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УПН-АТ140

Используя моделирование методами Монте-Карло, были получены значения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы за стенами помещения установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 (УП «АТОМТЕХ») как для нейтронного, так и γ -излучения.

➤ **Ключевые слова:** метод Монте-Карло, дисперсия, нейтронное излучение, захватное γ -излучение, мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы.

Введение

При использовании помещения для проведения калибровки средств измерений с применением радионуклидных источников нейтронов, необходимым условием является соблюдение норм радиационной безопасности. Обычно радиационная защита помещения обеспечивается габаритами самого помещения и защитными стенами из бетона или кирпича. При таком подходе к проектированию радиационной защиты наиболее высокие уровни излучения оказываются у входа в помещение. Такая проблема решается установкой достаточно дорогой и громоздкой двери из многослойной защиты (железо, свинец, полиэтилен) либо путем достройки лабиринта, через который будет обеспечен вход в помещение.

При проектировании защиты от радионуклидных источников нейтронов, в частности, помещения установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140, следует учитывать, что в помещении, кроме нейтронного, присутствует жесткое γ -излучение, сопутствующее (n, γ) реакции в источнике, активационное, а также захватное [1].

При помощи моделирования методами Монте-Карло можно заранее оценить уровни мощности дозы, как по нейтронному, так и по сопутствующему γ -излучению. Также на этапе моделирования можно оптимизировать схему размещения источника излучения и калибруемого оборудования.

Особенности Монте-Карло моделирования за толстыми слоями защиты

При расчете дозовых характеристик нейтронов (или фотонов) за толстыми слоями защиты, возникают проблемы с применением методов Монте-Карло «напрямую». Если попытаться измерить величину потока частиц за толстым слоем защиты, то даже при достаточно длительном расчете можно не набрать необходимую статистику. В таких случаях появляется необходимость в искусственном управлении потоками частиц в заданной геометрии без искажения физического смысла задачи.

Мерой эффективности расчетов Монте-Карло в MCNP (версия 4b) является добротность или FOM (Figure of Merit) :

$$FOM = \frac{1}{\sigma^2 T},$$

где $\sigma^2 \sim 1/N$; σ^2 – дисперсия; N – число разыгранных историй; T – компьютерное время в минутах.

Таким образом, чем более эффективен расчет Монте-Карло, тем больше будет FOM, так как меньшее компьютерное время требуется для достижения данного значения дисперсии. Добротность должна быть приблизительно постоянной при возрастании числа разыгранных историй N , так как $\sigma^2 \sim 1/N$, а $T \sim N$. Маленькое значение FOM может означать, что редко выбираемая траектория частицы значительно влияет на итоговый результат и оценку дисперсии. В таком случае необходимо исследовать задачу для определения траекторий, которые вносят больший вклад в результат и переопределить задачу, чтобы выбирать эти траектории наиболее часто без изменения физического смысла задачи [2].

В MCNP разработаны специальные методы позволяющие дифференцировать вес (вклад) отдельных частиц с учетом их значимости в различных ячейках для формирования конечного результата, и тем самым уменьшить дисперсию решения без увеличения числа разыгрываемых историй. Такие методы получили название Variance Reduction Techniques. В данной работе использовался только метод Geometry Splitting with Russian Roulette.

Корректное использование метода Geometry Splitting with Russian Roulette позволяет существенно экономить время счета или повысить точность расчета искомой величины при фиксированном времени вычислений. Суть метода сводится к тому, что частица, движущаяся в направлении детектора, в некоторые моменты заменяется (расщепляется, splitting) на несколько частиц с меньшим весом, причем суммарный вес этих частиц равен весу исходной частицы. Далее, образовавшиеся частицы отслеживаются независимо. В результате дисперсия решения может быть существенно уменьшена. Если же частица двигалась в направлении, не представляющим интерес, то она вместе с несколькими другими подобными частицами заменяется одной, но с весом, равным сумме весов всех замененных частиц.

В MCNP этим процессом можно управлять при помощи параметра *imp*, которым снабжается каждая карта, описывающая ячейку. Когда частица с весом W_1 переходит из ячейки с $imp = I_1$ в ячейку с весом I_2 , эта частица расщепляется на $n_2 = I_2/I_1$ идентичных частиц с меньшим весом $W_2 = W_1/n_2$. Когда отношение I_2/I_1 не является целым, берется целая часть от отношения $n_2 = int(I_2/I_1)$, тогда с вероятностью $p_2 = I_2/I_1 - n_2$ расщепление происходит на $n_2 + 1$ частицу и с вероятностью $1 - p_2$ на n_2 частиц, но вес частиц в обоих случаях определяется выражением $W_2/(I_2/I_1)$ [3].

В случае, когда $I_2/I_1 < 1$ частица «убивается» с вероятностью $p_2 = 1 - I_2/I_1$ или следует дальше с вероятностью $p_2 = I_2/I_1$ и весом $W_2/(I_2/I_1)$ (рис. 1).

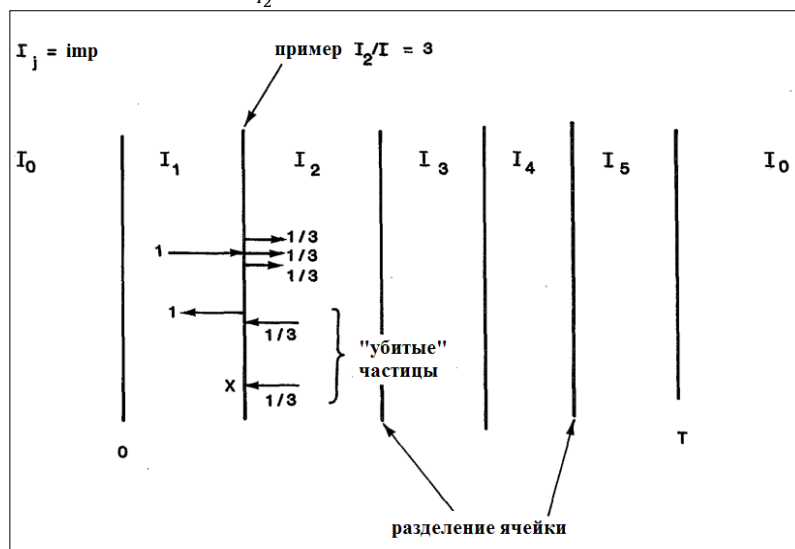


Рисунок 1 – Пример разделения частиц в методе Russian Roulette [3]

Таким образом, можно разделить сплошную стену из бетона на слои определенной толщины и затем применять метод Russian Roulette.

Применение Russian Roulette в MCNP

Толщину слоев на которые следует разделить защиту можно установить, если известен закон ослабления нейтронного излучения в материале защиты. Закон ослабления излучения пластиной толщиной d для параллельного пучка частиц можно записать в виде:

$$G = G_0 \exp(-d/L),$$

где, G и G_0 – характеристики поля излучения после и до прохождения пластины соответственно, d – толщина слоя, через который прошло излучение, L – длина релаксации, т. е. длина на которой излучение ослабнет в e раз [4].

В данном случае, знание длины релаксации для данного типа бетона и средней энергии $^{238}\text{Pu} - \text{Ve}$ источника не достаточно для определения толщины слоев, на которые следует разделить защиту из бетона, из-за значительной составляющей рассеянного в помещении нейтронного излучения. Для определения ослабления потока нейтронов в защите были размещены поверхностные детек-

торы F1 (поток через поверхность). По плотности потока на различной глубине в защите можно судить о характере ослабления потока нейтронов для данной геометрии (рис. 2).

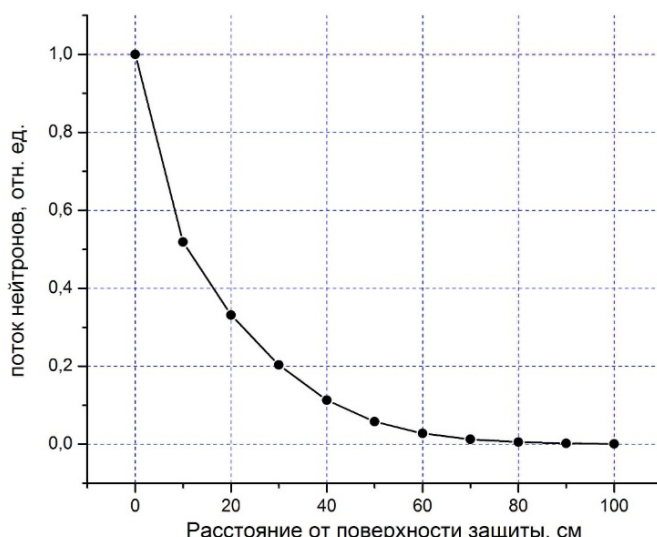


Рисунок 2 – Зависимость потока нейтронов в защите от расстояния до поверхности, нормированная к значению потока на поверхности защиты

Из графика видно, что поток нейтронов затухает по экспоненциальному закону и через каждые 10 см уменьшается примерно наполовину. Параметр imp , исходя из проведенного анализа, необходимо увеличивать в 2 раза через каждые 10 см. Таким образом, можно разделить защиту на слои толщиной 10 см и для каждого последующего слоя увеличивать параметр imp в 2 раза.

Для оценки эффективности работы метода расчет производился при равном числе историй $nps = 1 \cdot 10^7$. В результате при обычном расчете дисперсия составила $\sigma_1 = 0,2169$ и с использованием метода $\sigma_2 = 0,0057$.

По результатам расчетов при равном количестве историй можно удостовериться, что преимущества метода очевидны. Однако, необходимо также сравнить результаты по затратам компьютерного (процессорного) времени. Для расчетов $nps = 1 \cdot 10^7$ историй без применения метода было затрачено $ctm_1 = 22,46$ мин., во втором же случае компьютерное время составило $ctm_2 = 206,57$ мин. Таким образом, задача с Russian Roulette оказалась более трудоемкой для решения. Виной этому служит значительно выросшая суммарная популяция нейтронов, за каждым из которых приходится следить.

Для расчета с одинаковым компьютерным временем $ctm_1 = 206,57$ дисперсия обычного расчета составила $\sigma_1 = 0,0267$ и с использованием метода $\sigma_2 = 0,0057$. Можно оценить необходимое время для достижения той же дисперсии при обычном расчете. Исходя из того, что:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \sim \sqrt{\frac{ctm_2}{ctm_1}},$$

получается, что для разрешения задачи с той же погрешностью необходимо времени $ctm_2 = 5067$ мин. Это примерно в 25 раз больше, чем было затрачено с применением метода.

К таким же результатам можно прийти, если сравнить параметр FOM для обоих решений. В случае с расчетом с Russian Roulette параметр $FOM_2 = 150$, а при обычном расчете $FOM_1 = 6,3$.

Монте-Карло модель помещения установки поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140

Для оценки защитных свойств помещения необходимо получить значения мощности амбиентного эквивалента дозы потока нейтронов и γ -излучения за стенами помещения и непосредственно у входа. Помещение имеет размеры $12 \times 6 \times 3$ м, толщина боковых стен – 100 см, передней стены – 110 см, потолка – 150 см. Для прохода персонала в помещение построен лабиринт шириной 70 см. Источник располагается на высоте 150 см в коллиматоре установки. Материалом стен является бетон с плотностью $2,3 \text{ г/см}^3$.

Была разработана Монте-Карло модель помещения с размещенным внутри него коллиматором установки УПН-АТ140 и ^{238}Pu – Be -источников быстрых нейтронов. Бетон был описан в MCNP – модели (версия 4b) со следующими массовыми долями химических элементов: водород – 0,01, углерод – 0,001, кислород – 0,529, алюминий – 0,016, кремний – 0,337, натрий – 0,026, магний – 0,002, ка-

лий – 0,013, железо – 0,014, кальций – 0,044. Для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (γ -излучения и нейтронного излучения) применялся точечный детектор с соответствующими для данного типа излучения коэффициентами перехода от потока к мощности дозы [2]. Точечные детекторы были размещены в местах, представляющих наибольший интерес с точки зрения защиты (рис. 3).

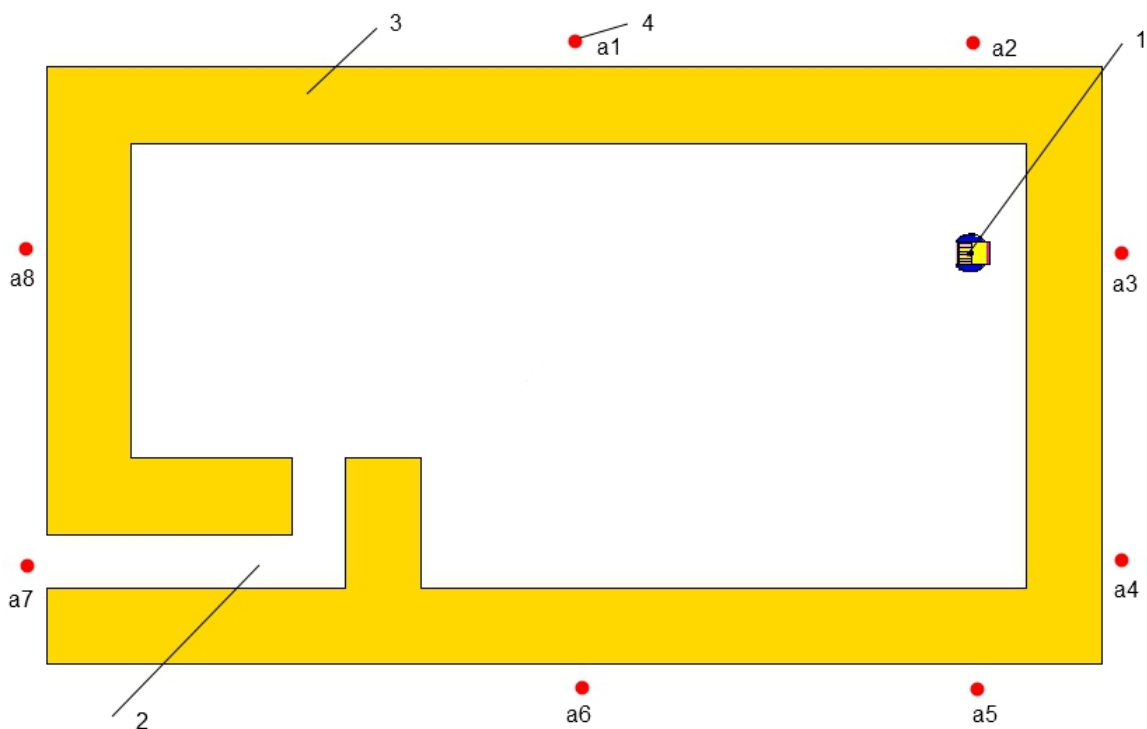


Рисунок 3 – Монте-Карло модель помещения: 1– коллиматор установки УПН-АТ140, 2– лабиринт, 3– бетонные стены, 4 – точки измерения мощности амбиентного эквивалента дозы

На практике в установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 применяется несколько типов $^{238}\text{Pu} - \text{Be}$ источников нейтронов ИБН-8 с различными выходами нейтронов. Для расчета мощности амбиентного эквивалента дозы был выбран самый мощный источник ИБН-8 с выходом нейтронов $1,91 \cdot 10^7$ нейтр./с. Из работы [5] был взят энергетический спектр для $^{238}\text{Pu} - \text{Be}$ -источника, оцифрован и обработан для применения в MCNP. При расчете мощности амбиентного эквивалента дозы для γ -излучения учитывалось захватное излучение и γ -излучение, сопутствующее реакции α -частиц на ядрах бериллия. При этой реакции на один нейтрон испускается 0,8 фотонов с энергией 4,42 МэВ [6, 7]. Рентгеновское и β -излучение при распаде ^{238}Pu не учитывалось (табл. 1).

Таблица 1

Мощность амбиентного эквивалента дозы для нейтронного и для фотонного излучения

№ точки	Открытая геометрия		Геометрия коллиматора	
	Нейтроны, $\text{H}^*(10)$, нЗв/ч	Фотоны, $\text{H}^*(10)$, нЗв/ч	Нейтроны, $\text{H}^*(10)$, нЗв/ч	Фотоны, $\text{H}^*(10)$, нЗв/ч
A1	11,6	0,47	2,87	0,11
A2	28,9	5,6	4,77	1,07
A3	47,8	12,1	6,41	1,89
A4	6,4	0,55	1,15	0,08
A5	9,22	1,5	2,1	0,26
A6	6,07	0,7	1,57	0,15
A7	6,45	0,76	2,55	0,25
A8	1,22	0,22	0,92	0,07

Из расчетных данных следует, что использование установок с коллимированной геометрией облегчает создание условий соблюдения норм радиационной безопасности из-за ослабления нейтронного излучения коллиматором, в котором размещается нейтронный источник. В данном случае мощность амбиентного эквивалента дозы за стенами помещения меньше предельно допустимой годовой дозы более, чем в 1000 раз.

Для расчета мощности амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения применялись те же приемы снижения дисперсии, что и для нейтронного.

Выводы

При помощи моделирования методами Монте-Карло были рассчитаны мощности амбиентного эквивалента дозы для нейтронного и для γ -излучения во всех значимых точках за стенами помещения. Для получения результатов за толстой защитой применялись нетривиальные специальные методы в MCNP (Variance Reduction Technique).

Использование установок с коллимированной геометрией облегчает создание условий соблюдения норм радиационной безопасности из-за ослабления нейтронного излучения коллиматором, в котором размещается нейтронный источник.

Список литературы

1. Азаров, В. А. Определение параметров биологической защиты контейнера для долговременного хранения ампульных нейтронных источников/ В. А. Азаров, М. Е. Силаев// Известия Томского политехнического университета. – 2004. – №5(307). – С. 84–89.
2. Briesmeister, J. F. MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B. LA-12625-M. изд. Los Alamos: Ed. Los Alamos National Laboratory. – 1997. – 736 p.
3. Thomas, E. Booth Monte Carlo Variance Comparison for Expected Value Versus Sampled Splitting // Nuclear Science and Engineering. – 1985. – № 89. – С. 305–309.
4. Машкович, В. П., Кудрявцева, А. В. Защита от ионизирующих излучений: справочник. – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
5. Geiger, K. W., I. Van der Zwan Radioactive neutron source spectra from ${}^9\text{Be}(\alpha, n)$ cross section data // Nuclear Instruments and Methods. – 1975. – № 131. – С. 315–321.
6. Крамер-Агеев, Е. А., Протасов, В. П. Экспериментальные методы нейтронных исследований: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 376 с.
7. Источники альфа-, бета-, гамма- и нейтронного излучения // Каталог продукции ФГУП “Маяк”, 2010. – С. 37–40.

D. I. Komar

CALCULATED RADIATION PROTECTION USING MONTE -CARLO METHODS

Considered several features and problems with designing protection of facilities. Considered using Monte-Carlo methods simulation to calculate properties of protection during facility planning.

В. В. Журавков

*Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь*

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ОТ ИЗОТОПОВ РАДОНА НА КРИТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ НАСЕЛЕНИЯ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Подсчет вклада радона в формирование средней дозы облучения человека в процессе его жизни дает неожиданные результаты. Общий вклад естественного облучения в дозовую нагрузку составляет около 72 %. При этом вклад радона оценивается в 54 %. Этот факт вызвал большой интерес к радоновой проблеме практически во всех развитых странах, поскольку более половины годовой дозы от всех природных источников излучения человек получает через воздух, облучая радоном свои легкие во время дыхания.

➤ **Ключевые слова:** радон, дочерние продукты распада, доза облучения, альфа-распад, коллективная доза.

Введение

Интерес к радиологическому воздействию радона на население возник в начале 1980-х гг. Первые же исследования показали, что концентрация радона в воздухе жилых домов, особенно одноэтажных, часто превышает уровень предельно допустимых концентраций.

На территориях Беларуси с повышенным радиоактивным загрязнением (южные районы), в результате аварии на ЧАЭС, мониторинговые мероприятия по определению содержания радона и продуктов его распада, как в воздухе, так и в воде ранее не проводились. Однако в этих районах концентрация радона и продуктов его распада находится на предельно допустимых уровнях. Поэтому определение концентраций радона и продуктов его распада, оценка дозовых нагрузок на критические группы из населения и разработка эффективных мероприятий по снижению поступления этих радионуклидов в организм людей является одной из наиболее актуальных, сложных задач, а также приоритетным направлением фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь.

Исходные данные и методология исследования

Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) в 1983 г. [1] сформулировала принципы ограничения воздействия на население природных источников ионизирующего излучения. Их сущность заключается в том, что действие источников может быть уменьшено при выполнении специальных мероприятий, соблюдения ограничительных уровней ионизирующих излучений и их контроль на всех стадиях предпринимаемых мер. На основании проведенных исследований было установлено, что эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в 200 Бк/м^3 примерно соответствует годовой эффективной дозе в 20 мЗв. Исходя из этих данных следует устанавливать верхнюю границу содержания радона в жилых помещениях. МКРЗ рекомендовала уровень 100 Бк/м^3 , как величину уменьшения риска воздействия радона при его доминировании.

По оценкам британских ученых 20 Бк/м^3 радона в воздухе дома дает годовую эффективную дозу 1 мЗв и риск возникновения рака легкого 0,25 % за жизнь [2]. Впрочем, оценка риска и доз сильно варьируется в зависимости от модели расчета риска.

В 1990 г. МКРЗ [3] пересмотрела вопросы связанные с радоном и детализировала рекомендации. Комиссия указала на важность идентификации рабочих мест и помещений по степени радоноопасности, даже в тех случаях, которые не связаны с деятельностью вблизи материалов содержащих ЕРН и радон. Содержание радона в воздухе жилых помещений требует внимания с точки зрения формирования индивидуальных и коллективных доз. Новые здания и сооружения рекомендуется возводить в таких районах и с соблюдением разработанных требований, которые будут соответствовать соблюдению действующих уровней на содержание радона в воздухе помещений.

В 1996 г. органы Европейского союза (ЕС) [4] представили рекомендации по защите населения от действия радона внутри помещений. Уровень вмешательства для существующих домов был установлен 400 Бк/м^3 для среднегодового содержания радона. При превышении этого значения следует проводить активные действия по уменьшению содержания радона. Планируемые конструкции следует возводить

в соответствии со стандартами и руководящими документами, обеспечивающими среднегодовую концентрацию газа 200 Бк/м^3 . В целях радиационной защиты от радона средние годовые концентрации радона должны определяться интегральными методами. Органам управления следует обеспечить необходимое качество и надежность измерений. Планируемые места строительства выбираются в соответствии с результатами зонирования территорий по степени радоноопасности.

Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Руководящие принципы и численные уровни действий устанавливаются только для хронического облучения от радона. Уровень действий – это значение удельной активности, при превышении которого в условиях хронического облучения должны приниматься восстановительные меры (меры, принимаемые в случае превышения указанного уровня действий в ситуации вмешательства, связанной с хроническим облучением, в целях снижения доз облучения, которые могли бы получены без принятия этих мер) или проводиться защитные действия (вмешательство, направленное на устранение или снижение доз для лиц из состава населения в условиях хронического облучения). Под вмешательством предполагается любое действие, направленное на снижение или предотвращение или возможности облучения от источников, которые не являются частью контролируемой практической деятельности.

В Нормативах радиационной безопасности [5] снижение облучения населения достигается путём становления системы ограничений (уровни действий) на хроническое облучение населения радоном в равновесии с короткоживущими продуктами его распада: при проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объёмная активность радона в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м^3 ; в эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объёмная активность радона в воздухе жилых помещений не должна превышать 200 Бк/м^3 .

При более высоких значениях объёмной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений.

В 1993 г. МКРЗ выпустила документ полностью посвященный защите от радона-222 [6] в жилых домах и на рабочих местах. Комиссия представила серию рекомендаций по контрольным уровням содержания радона в существующих жилых зданиях, новых домах и рабочих сооружениях. МКРЗ предложила перечень действий по определению и идентификации возможных радоноопасных зон, мер и мероприятий для уменьшения содержания радона и создания потенциально высоких его концентраций. Комментируя свои рекомендации, МКРЗ указывает, что уровни вмешательства для жилых домов должны устанавливаться если годовая эффективная доза составляет более 10 мЗв . Меры по уменьшению содержания радона должны проводиться исходя из величины дозы от фоновых естественных источников. Выбор контрольных уровней должен производиться для ограничения годовой эффективной дозы для диапазона $3\text{--}10 \text{ мЗв}$. Их значение следует принимать местным властям [7].

Для оценки сокращения продолжительности жизни критической группы из населения от действия радона, использовали программный продукт – ECRS v-1.0 (European Commission Radon Software). ECRS было совместно разработано с CEPN и NRPB (National Radiological Protection Board), при поддержке ЕС (European Commission).

Цель ECRS состоит в том, чтобы обеспечить простоту и удобство при расчетах и оценках индивидуального риска, связанного с дозовыми нагрузками от эманации радона. ECRS содержит демографическую базу данных и данные по употреблению табака для различных стран, также дает пользователю возможность использовать альтернативные данные и параметры модели. Это программное обеспечение способно оценить риск фатального рака легких, связанного с индивидуальной или коллективной дозой при эманации радона.

Результаты и их обсуждение

В результате выполнения исследований, впервые в Беларуси, было проведено радиационно-гигиеническое обследование общественных зданий г. Хойники (Государственная гимназия, УО «Хойникское профессионально-техническое училище № 183 мелиоративного строительства», три средних школы, пять детских садов-яслей), г. Брагина (Государственное учреждение образования «Брагинская средне-образовательная школа № 1», два детских садов-яслей) и г. Наровля (три средних школы, четыре детских садов-яслей), где самая незащищенная группа из населения (дети и подростки) проводит большую часть времени.

Измерение удельной активности радона-222 в разных помещениях (от подвалов до верхних этажей) этих зданий показали, что эквивалентная равновесная объёмная активность (ЭРОА) этого

изотопа в воздухе в обследуемых помещениях школ и детских садов г. Хойники находится в пределах 30–70 Бк/м³, г. Брагин в пределах 11–33 Бк/м³, г. Наровля в пределах 7–36 Бк/м³, что ниже установленного предела для эксплуатируемых зданий (200 Бк/м³).

На основании этого можно оценить концентрацию Po-210 в воздухе в пределах для г. Хойники 0,0015–0,0035 Бк/м³, для г. Брагин 0,00055–0,0017 Бк/м³, для г. Наровля 0,00035–0,0018 Бк/м³. Эти значения более чем в 10 раз меньше допустимых уровней.

Дозовые нагрузки на указанную группу из населения, которые в основном определяются ингаляционным поступлением в организм короткоживущих продуктов распада радона-222 и находятся в пределах от 3,3 до 7,7 мЗв для обследуемых помещений школ и детских садов г. Хойники, от 1,2 до 3,6 мЗв для обследуемых помещений школ и детских садов г. Брагина и от 0,7 до 4 мЗв для обследуемых помещений школ и детских садов г. Наровля.

В ходе проведения экспедиционных работ были проведены измерения (с использованием методики МВИ.МН 2174-2004) удельной активности радона-222 в водопроводной воде г. Хойники, г. Брагина и г. Наровля, которой пользуется значительная часть населения городов.

Результаты расчетов эквивалентной равновесной объемной активности радона, годовой эффективной эквивалентной дозы (ГЭЭД) от радона и ожидаемое сокращение продолжительности жизни (ОСПЖ, рассчитано используя пакет прикладных программ ECRS v-1.0 для оценки риска возникновения рака легких, связанного с индивидуальной или коллективной дозой при эманации радона) от радона и радионуклидов его подсемейства, для населения при ингаляционном поступлении радона и ДПР в организм, представлены в таблице [8].

Таблица

Эквивалентная равновесная объемная удельная активность радона в обследуемых помещениях, дозы и риски

№	Наименование зданий	ЭРОА, Бк/м ³	ГЭЭД от радона и его ДПР, мЗв	ОСПЖ от радона и его ДПР, лет	
				Муж.	Жен.
1	Государственная гимназия, г. Хойники	58	6,4	5,8	4,4
2	СШ № 3, г. Хойники	29	3,2	3,2	2,3
3	СШ № 2, г. Хойники	27	3,0	3	2,2
4	СШ № 1, г. Хойники	39	4,3	4,2	3,1
5	УО «Хойникское ПТУ № 183 мелиоративного строительства»,	37	4,1	4,0	2,9
6	Региональный учебно-информационный центр по проблемам радиационной безопасности (МГЭУ им. А. Д. Сахарова), г. Хойники	25	2,8	2,8	2,0
7	Детский сад-ясли № 5, г. Хойники	33	3,9	3,6	2,6
8	Детский сад № 6 «Березка», г. Хойники	26	2,9	2,9	2,1
9	Детский сад-ясли № 4 «Верасок», г. Хойники	33	3,6	3,6	2,6
10	Детский сад-ясли № 2 «Солнышко», г. Хойники	37	4,1	4,0	2,9
11	Детский сад-ясли № 1 «Колосок», г. Хойники	21	2,3	2,4	1,7
12	ГУО «Брагинская СШ № 1», г. Брагин	12	1,3	1,4	1,0
13	Ясли-сад № 1 «Алеся», г. Брагин	9,7	1,1	1,2	0,8
14	Детский сад № 2 «Золотой ключик», г. Брагин	14,7	1,6	1,7	1,2
15	СШ № 1 г. Наровля	14,5	1,6	1,8	1,2
16	Средняя школа № 2, г. Наровля	10,5	1,2	1,3	0,9
17	СШ № 3, г. Наровля	11,0	1,2	1,3	0,9
18	Детский сад № 1 «Веселка», г. Наровля	8,7	0,9	1,1	0,8
19	Детский сад № 3, г. Наровля	11,2	1,3	1,3	0,9
20	Детский сад № 5 «Геремок», г. Наровля	10,3	1,2	1,2	1
21	Детский сад № 5 «Волшебный цветок», г. Наровля	8,7	0,9	1,1	0,8

Согласно измерениям удельная активность радона в воде г. Хойники находится в пределах 0,8–26,3 Бк/литр (Региональный учебно-информационный центр по проблемам радиационной безопасности МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 15 независимых проб). Удельная активность радона в воде г. Брагина

находится в пределах 25 мБк/л (пробы воды были отобраны на водозаборе после очистки от железа). Удельная активность радона-222 в водопроводной воде г. Наровля находится в пределах 28 мБк/л (пробы воды были отобраны на водозаборе после очистки от железа) [9]. Концентрация ^{210}Po в воде г. Хойники, г. Брагина и г. Наровля находится на уровне действующего норматива - 0,1 Бк/литр.

Настораживает тот факт, что концентрация ^{210}Po в воде некоторых колодцев на территории Хойникского района находится на уровне действующего норматива (0,1 Бк/литр).

Выводы

Таким образом, на основании экспериментальных измерений активности радона-222 в жилых и служебных помещениях г. Хойники, г. Наровля и г. Брагин можно предположить, что основным источником поступления радона являются строительные материалы, которые использовались при строительстве этих зданий. Концентрация радона и его дочерних продуктов распада находится ниже установленного предела для эксплуатируемых зданий, поэтому нет необходимости проводить мероприятия по вмешательству.

Меры по уменьшению содержания радона в воздухе жилых и служебных помещений должны проводиться исходя из величины контрольных уровней, которые следует принимать местным властям [10].

Список литературы

1. ICRP, 1983. Cost-benefit analysis in the optimisation of radiation protection. ICRP Publication 37. Ann. ICRP 10.
2. ICRP, 1973. Implications of Commission Recommendations that Doses Be Kept As Low As Reasonably Achievable. ICRP Publication 22. Pergamon Press, Oxford, UK.
3. ICRP 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21.
4. EU, 1996. Council of the European Union: Council Directive on laying down the Basic Safety Standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionising radiation. Official. J. Eur. Community 39, No. L, 159.
5. Нормы радиационной безопасности НРБ-2000, Беларусь, утв. Пост. Минздрав. РБ № 5 от 25.01.2000 г.
6. ICRP, 1993. Protection against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2). Русский перевод: Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. М. : Энергоатомиздат. 1995.
7. ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40 (1)
8. Журавков, В. В., Миронов, В. П. Радон-222 и его дочерние продукты распада на территории Беларуси / Вопросы естествознания, Выпуск 4. УО БГПУ им.М.Танка. – Минск, 2009. – С. 18–19.
9. Журавков, В. В., Миронов, В. П. Оценка дозовых нагрузок от радона и его ДПР на критические группы из населения / VI Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, производство в решении экологических проблем» (Экология-2009). Сборник научных статей. - Уфа, 2009. – Т. 1. – с. 339-345.
10. Справка о внедрении результатов НИР // В. В. Журавков, В. П.Миронов/ Исследование поступления радионуклидов подсемейства радона-222 в организм жителей г. Брагин и разработка мероприятий по снижению дозовых нагрузок, вызываемых ими: Брагинский районный исполнительный комитет, г. Брагин, 2009.

V. V. Zhuravkov

FORMATION OF THE DOSE LOADINGS FROM RADON ISOTOPES ON THE CRITICAL GROUP OF POPULATION IN SOUTHERN REGIONS BELARUS

Counting the contribution of radon in the formation of the average radiation dose a person in the course of his life gives unexpected results. The total contribution of natural exposure to radiation dose is about 72 %. The contribution of the measured radon 54 %. This fact was of great interest to the radon problem in almost all developed countries, as more than half the annual dose from all natural sources of radiation a person receives through the air, radon irradiating their lungs during breathing.

Т. И. Зиматкина., В. В. Богомазов

Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно, Республика Беларусь

О КУЛЬТУРЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА

В работе проанализированы особенности облучения пациентов, медицинского персонала и подходы к обеспечению их безопасности. Показана возможность снижения дозовых нагрузок, психоэмоционального напряжения и максимально эффективного обеспечения радиационной безопасности при повышении уровня радиационной культуры и грамотности персонала.

➤ **Ключевые слова:** культура радиационной безопасности, медицинский персонал, облучение.

Введение

В медицине в настоящее время широко применяются методы лечения и диагностики заболеваний с использованием источников ионизирующих излучений (ИИИ). Благодаря наличию уникальных свойств сфера их применения в медицинской практике с каждым годом неуклонно расширяется. Рентгенологические методы (рентгенография, рентгеноскопия, флюорография) дают возможность проведения быстрой, безболезненной и бескровной диагностики многих патологических состояний организма, получения точной информации о состоянии внутренних органов и сосудистого русла (компьютерная и позитронно-эмиссионная томография, ангиография, рентгенография с контрастированием), осуществления контроля малоинвазивных хирургических вмешательств (интервенционная радиология), а также подавления роста злокачественных новообразований при лечении онкологических заболеваний (радиотерапия, радиохirurgия). Все эти технологии представляют огромную ценность и во многом определяют облик современной медицины.

Однако, внедряемые в медицинскую практику новые высокоинформативные и результативные методы диагностики и лечения заболеваний, вместе с тем, являются и высокодозовыми. В связи с этим многократно возрастает ответственность медицинского персонала не только за здоровье и радиационную безопасность пациентов, но также и за свои здоровье и безопасность. Постоянное усложнение оборудования и техники проводимых процедур увеличивают риски негативных последствий для здоровья и делают труд медицинских работников всё более напряженным. Это ухудшает их психоэмоциональный статус, способствует снижению уровня физического и психического здоровья (развитию радиофобии, синдрома эмоционального выгорания, синдрома хронической усталости, снижению общей резистентности организма, развитию профессионально-обусловленных заболеваний). Данные обстоятельства определяют высокую актуальность необходимости повышения уровня радиационной культуры и грамотности медицинского персонала, что позволит добиться максимально эффективного обеспечения радиационной безопасности, снижения психо-эмоционального напряжения и уровня стресса.

Следует ещё раз подчеркнуть, что несмотря на все преимущества, использование ИИИ в медицинской практике несет определённую угрозу для здоровья не только пациента, но и занятого при проведении процедур медицинского персонала. Первые врачи-радиологи из-за отсутствия достоверной научной информации о биологических эффектах радиации, медицинских последствиях облучения и возможных мерах защиты, страдали от ожогов кожи, катаракты, лучевой болезни. Смертность от злокачественных новообразований среди врачей-радиологов и рентгенологов была значительно выше, чем у врачей других специальностей и всего населения. Неосознанность человеком действия радиации создает у него иллюзию отсутствия вредного и опасного влияния её на организм. Поэтому негативные для здоровья человека отдаленные последствия радиационного воздействия могут не ассоциироваться им с полученной в прошлом дозой облучения. Поскольку взаимодействие ионизирующего излучения с живым организмом крайне сложно и ещё не полностью изучено, очень важно максимально использовать имеющиеся сведения для минимизации или полного устранения его негативных последствий для здоровья человека.

Постановка проблемы

Поскольку характер дозовой нагрузки на организм пациента определяется назначениями врачей, от которых также зависят дозы облучения участвующего в выполнении процедур персонала, очень важно, чтобы врачи-радиологи и другие медицинские работники обладали достаточно полными знаниями о влиянии медицинского облучения (МО) на организм, потенциальных последствиях различных манипуляций с ИИИ, а также о применяемых в медицинской практике возможных приемах радиационной защиты. Для этого необходимо регулярное повышение уровня знаний, а также постоянное формирование и поддержание на достаточном уровне культуры радиационной безопасности работников здравоохранения.

Результаты и их обсуждение

МО представляет собой уникальный вид облучения. Оно является преднамеренным, так как проводится с определенной целью, а значит и планируемым, что дает возможность заблаговременной подготовки к его воздействию и время для выбора защиты. Кроме того, МО является управляемым, то есть дозовая нагрузка за процедуру может регулироваться и подбираться индивидуально в зависимости от особенностей организма пациента и цели применения, а также направленным. Поскольку облучению в большинстве случаев подвергается не весь организм, а только его часть, либо отдельный орган или фрагмент ткани, возникает возможность выбора дополнительной защиты тех органов и тканей, в облучении которых нет необходимости. Следует отметить существенные различия в специфике облучения пациентов и медицинского персонала. МО пациентов, как правило, является разовым, либо представляет собой курс процедур, а дозовые нагрузки в зависимости от цели облучения могут сильно варьировать. Полноценное применение классических способов защиты от ИИИ не всегда представляется возможным. В случае с защитой временем или расстоянием, сокращение длительности облучения или отдаление пациента от ИИИ сверх определенных уровней может вести к неполному достижению лечебной или диагностической цели. Экранирование здоровых или не участвующих в обследовании тканей также может быть не всегда достаточно эффективным из-за отсутствия требуемого большого слоя поглощающего материала, делающего эффективные средства защиты громоздкими и неудобными. Поэтому при высокодозовых методах лечения и диагностики, кроме классических методов защиты, необходимо и перспективно применение радиопротекторов - химических веществ, уменьшающих вредное действие радиации на организм. Следует также учитывать возможность снижения адаптационного потенциала организма в связи с различными донозологическими и патологическими состояниями.

Облучение медицинского персонала при осуществлении своей профессиональной деятельности также имеет ряд особенностей:

- высокую кратность (облучение медицинских работников происходит практически каждый рабочий день, однократно или в несколько приемов, в зависимости от специальности);
- относительно низкие дозы (в подавляющем большинстве случаев медработник получает за процедуру меньшую дозу по сравнению с пациентом, но в то время как пациент проходит лишь курс лечения или разовое обследование, медицинский персонал облучается на протяжении всей своей профессиональной деятельности);
- подверженность облучению практически всех тканей организма в отличие от пациента, который проводит лишь небольшую часть времени в непосредственной близости от источников излучения, в то время как медицинский персонал взаимодействует с ними при подготовке пациента, техническом обслуживании и пр. Кроме того, для пациента облучение является избирательным, а врач должен перемещаться относительно источника, подвергая облучению различные участки тела.

Все это свидетельствует о том, что медицинские работники испытывают весьма интенсивное воздействие радиационного фактора при осуществлении своей профессиональной деятельности.

Поглощение энергии излучения тканями организма вызывает множественные повреждения субклеточных структур (изменение макромолекул, образование свободных радикалов и токсичных перекисей, изменение генетического материала и др.), что в конечном итоге ведет к развитию радиобиологических эффектов. Выделяют детерминированные и стохастические эффекты облучения. Первые неизбежно проявляются при превышении определенного дозового порога (к ним относятся лучевая болезнь, ожоги кожи, катаракта и др.), а вторые не имеют дозового порога проявления, то есть возможны даже при малой дозе облучения, с возрастанием дозы растет и вероятность их развития (главным образом – онкологические заболевания). Кроме того, стохастические эффекты могут проявляться даже у потомков людей, подвергшихся облучению в виде наследственных дефектов (в том числе и летальных). Последствия профессионального облучения могут быть очень разнообразными.

Детерминированные эффекты облучения, то есть профессиональные заболевания среди занятого при эксплуатации ИИИ медицинского персонала, регистрируются относительно редко. Среди них наиболее характерны облысение, лучевые дерматиты, а также катаракта. Однако всегда существует риск снижения адаптационных возможностей организма и развития профессионально-обусловленных заболеваний, а также стохастических эффектов в виде онкологических заболеваний. Смертность от злокачественных новообразований в Республике Беларусь с 2000 по 2014 годы выросла в 1,7 раза и достигла почти 2718 человек на 100 тыс. населения, что соответствует второму месту по распространенности среди всех остальных заболеваний [1]. Кроме того, при данной патологии отмечаются многочисленные случаи инвалидности. В связи с этим становится очевидной необходимость постоянного совершенствования защиты людей от неблагоприятного воздействия канцерогенных факторов, в том числе, применяемых в медицине ИИИ (особенно с учетом того, что вклад МО в коллективную дозу облучения населения неуклонно возрастает).

В Республике Беларусь большинство специалистов по эксплуатации ИИИ (более 70 %) задействованы в области медицины. Для снижения неблагоприятного влияния радиации на здоровье человека, разработаны принципы радиационной безопасности, которые должны неукоснительно соблюдаться при всех видах работ с ИИИ, в том числе и при МО.

- *Принцип нормирования* сводится к ограничению максимальных доз облучения в целом по стране медицинских работников, занятых в работах с ИИИ до определенных уровней, обеспечивающих отсутствие проявления детерминированных эффектов облучения. В Беларуси законодательно установлен предел эффективной дозы для медицинского персонала в 20 мЗв/год в среднем за любые 5 последовательных лет, но не более 50 мЗв за один год. Кроме того, существуют ограничения эквивалентной дозы в различных органах: в хрусталике глаза – 150 мЗв/год, в коже, кистях и стопах – 500 мЗв/год [7]. Для пациентов же нормируется только профилактическое облучение (до 1 мЗв/год в среднем за любые 5 последовательных лет, но не более 5 мЗв за один год), пределы эквивалентных доз: 15 мЗв/год – в хрусталике глаза, 50 мЗв/год - в коже, кистях и стопах [7]. Объем терапевтического применения ИИИ определяется индивидуально для каждого пациента врачом-радиологом. Однако, даже строгое соблюдение всех норм не может гарантировать отсутствия отдаленных последствий облучения, поэтому определенный риск развития стохастических эффектов присутствует при любой дозе.

- *Принцип обоснования* сводится к тому, что потенциальная польза от облучения должна превышать вред, приносимый им. Это значит, что пациент должен подвергаться МО только в случае наличия на то показаний и если лечебная или диагностическая ценность процедуры превышает потенциальные негативные последствия облучения для его здоровья. В случае же с медицинским персоналом, непосредственная польза от облучения отсутствует, однако его обоснованием является помощь пациенту. Реализация данного принципа заключается в недопущении проведения процедур без четких показаний. Исключение части манипуляций или замена их по возможности альтернативными методами (например, применение УЗИ и МРТ вместо КТ и рентгенографии) автоматически исключает необходимость облучения как населения, так и персонала.

- *ALARA (As Low As Responsibly Achievable) или принцип оптимизации* сводится к тому, что значения индивидуальных доз, число облученных лиц должны поддерживаться на самых низких уровнях, какие только могут быть достигнуты с учётом экономических и социальных факторов. В медицине минимальные дозы на процедуру для пациентов определяются, главным образом, техническими возможностями и разрешающей способностью оборудования, и, в меньшей степени, навыками медработников, в то время как дозовая нагрузка персонала в значительной степени обусловлена как техническим оснащением, так и его профессионализмом. Международная Комиссия по радиационной защите в своих публикациях предписывает уменьшать дозу персонала, занятого в работах с ИИИ до достижения пренебрежимо малого уровня – 10 мкЗв/год индивидуальной дозы. Фактические же дозы работников белорусского здравоохранения, согласно официальным статистическим данным 2014 года, могут на порядки превышать эту величину и колеблются в пределах от 0,6 до 9,64 мЗв/год [2, 3, 4, 5, 6], при том, что средняя годовая эффективная доза жителя Земли, по оценкам ООН, достигает лишь 2,4 мЗв (от всех источников) [9].

Анализ официальных статистических данных Министерства Здравоохранения Республики Беларусь, а также областных центров гигиены, эпидемиологии и общественного здравоохранения за 2014 г. показывает, что большинство ИИИ в стране используется в медицинских учреждениях. Средняя годовая эффективная доза медицинского персонала в целом соответствует требованиям гигиенических нормативов. Проводится индивидуальный дозиметрический контроль всех специалистов из числа медицинских работников, работающих с ИИИ. Однако, за указанный период времени были зафиксированы

превышения мощности экспозиционной дозы в трех рентгенологических кабинетах Минской области (в Фанипольской поликлинике УЗ «Дзержинская ЦРБ», Дружененской районной поликлинике УЗ «Марьиногорская ЦРБ», Ивенецкой горпоселковой больнице УЗ «Воложинская ЦРБ») [5]. Также в данном регионе отмечен максимум годовой эффективной дозы медицинского персонала по республике (табл.).

Таблица 1

Количество ИИИ в Республике Беларусь, численность медицинского персонала и их средние годовые эффективные дозы облучения в 2014 г.

Область	Количество ИИИ (в том числе в организациях здравоохранения) (шт.)	Численность медперсонала, занятого в работах с ИИИ (чел.)	Средняя годовая эффективная доза медицинского персонала (мЗв)
Брестская	—	926	1,34
Гомельская	300 (270)	—	0,6
Гродненская	1513	650	0,6
Минская	308 (265)	—	9,64*
Могилевская	—	—	0,84

Примечание: «*» – максимальная годовая эффективная доза, «—» – статистические данные в анализируемых источниках информации отсутствуют.

Следует отметить, что несмотря на стабильную радиационную обстановку в различных регионах Беларуси и умеренные дозы облучения в целом по стране, вопрос минимизации дозовых нагрузок остается актуальным как для персонала, так и для пациентов. Одну из ключевых ролей в этом процессе может и должен играть уровень радиационной культуры работников здравоохранения, которая складывается из следующих компонентов:

- **знание специфики МО** (наличие у специалиста точных данных об особенностях того или иного вида облучения позволяет точнее оценить его преимущества и недостатки в каждом конкретном случае, а также проанализировать целесообразность его применения);

- **наличие знаний и навыков по обеспечению собственной безопасности** (полная и всесторонняя осведомленность о свойствах излучения на рабочем месте позволяет избежать неоправданных лучевых нагрузок и снижает страх работника перед последствиями облучения, ликвидируя чувство собственной беспомощности и бессилия перед невидимым лучом. Сюда относятся грамотное применение индивидуальных средств защиты, соблюдение мер предосторожности при работах с ИИИ, регулярное прохождение дозиметрического контроля и строгий учет дозовых нагрузок. Немаловажен и здоровый образ жизни. Так, например, рациональность и сбалансированность рациона питания работника по макро- и микронутриентам практически полностью зависит от него самого. Поддержание на максимально возможном уровне адаптационного потенциала организма, антиоксидантного, иммунного и психологического статусов достигается также путем умеренных физических нагрузок, соблюдения режима сна и недопущения психоэмоциональных перегрузок, а также, при необходимости, приема общеукрепляющих препаратов и готовых поливитаминных комплексов. Четкое знание возможных последствий облучения и регулярное самостоятельное обследование (например, пальпация лимфатических узлов) могут позволить выявить неблагоприятные изменения на самой ранней стадии, когда возможно малотравматичное и эффективное их устранение);

- **Наличие знаний и навыков по обеспечению защиты пациента** (врач должен провести комплексную медикаментозно – психологическую подготовку пациента: в доступной форме объяснить ему риски и выгоду от предстоящего лечения или диагностики, проинформировать о правильном поведении до, во время и после процедуры, предложить рацион питания с повышенным содержанием продуктов с выраженными радиопротекторными свойствами. В некоторых случаях, особенно при высокодозовой диагностике и радиотерапии, назначить искусственные радиозащитные препараты, а также общеукрепляющие и иммуностимулирующие средства для повышения адаптационного потенциала организма).

Обеспечение достаточно высокого уровня радиационной культуры медперсонала должно достигаться не только качественной подготовкой в ходе обучения в Вузе, но и дальнейшим постоянным совершенствованием профессиональной компетентности за счёт регулярного прохождения курсов повышения квалификации, ознакомления с результатами научных исследований и достижениями в области радиационной безопасности, а также возможностью их применения на практике.

Выводы

При современном стремительном расширении сферы использования ИИИ в медицинской практике, постоянном усложнении применяемого оборудования и используемых высокодозовых методов диагностики и лечения значительно возрастает роль и важность профессиональной компетентности специалистов, назначающих и выполняющих связанные с облучением манипуляции. Радиационная культура медицинского персонала может и должна играть чрезвычайно важную роль в обеспечении радиационной безопасности всех облучаемых лиц при использовании ИИИ в медицине. Неукоснительное соблюдение положений законодательных актов, санитарных норм и правил в области обеспечения радиационной безопасности и основных принципов защиты от ИИИ позволяет не только уменьшить дозовые нагрузки на облучаемых лиц, но и дает им гарантии сохранения физического и психического благополучия, а также повышения результативности лечения. При отсутствии действия стрессовых агентов и избыточной тревожности более эффективно протекает клеточная репарация, повышается общая и специфическая резистентность организма.

Список литературы

1. Здравоохранение в Республике Беларусь: офиц. стат. сб. за 2014 г. – Минск: ГУ РНМБ, 2015. – 282 с.: табл.
2. Информационно-аналитический бюллетень «Здоровье населения и окружающая среда Брестской области в 2014 году». / государственное учреждение «Брестский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» – Брест, 2015. – 161 с.
3. Информационно-аналитический бюллетень «Здоровье населения и окружающая среда Гомельской области в 2014 году». Выпуск 20 / Под ред. А. А. Тарасенко; государственное учреждение «Гомельский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» – Гомель, 2015. – 61 с.
4. Информационно-аналитический бюллетень «Здоровье населения и окружающая среда Гродненской области в 2014 году». / государственное учреждение «Гродненский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» – Гродно, 2015. – 110 с.
5. Информационно-аналитический бюллетень «Здоровье населения и окружающая среда Минской области в 2014 году» / государственное учреждение «Минский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» – Минск, 2015. – 127 с.
6. Информационно-аналитический бюллетень «Здоровье населения и окружающая среда Могилевской области в 2014 году» / государственное учреждение «Могилевский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» – Могилев, 2015. – 130 с.
7. О радиационной безопасности населения: Закон РБ от 5 янв.1998 г. № 122-3 : в ред. от 4 янв. 2014 г. № 106-3 // Национальный реестр правовых актов РБ. – № 2/256.
8. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности» // Национальный реестр правовых актов РБ. – 2013 г. 8/26850
9. Средняя годовая доза ионизирующих излучений от внешних и внутренних источников // Исследование естественного радиационного фона [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mousosh262011.narod.ru/radkonst/p5aa1.html> Дата доступа: 07.04.2016.

T. I. Zimatkina, V. V. Bogomasov

A CULTURE OF RADIATION SECURITY OF MEDICAL STAFF

This article analyses the specificities of medical radiation of patients, medical staff and approaches to provision of their security. It was shown the possibility of decreasing of dose lode, psychoemotional stress and maximal efficacy of radiation security with the increasing level of radiation culture and competence of personal.

А. А. Бутько, В. А. Пашинский, О. И. Родькин

*Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ ПОРОДЫ С КОРОТКИМ ПЕРИОДОМ РОСТА ИВЫ БЕЛОЙ (*SALIX ALBA*)

*В статье представлены результаты оценки жизненного цикла (ОЖЦ) производства щепы при возделывании древесно-кустарниковой породы с коротким периодом роста – клона Волмянка ивы белой (*Salix alba*).*

Границы системы ОЖЦ выявлены по разработанной технологической карте состоящей из V этапов, включающих 28 технологических операций [1]. Оценка жизненного цикла выполнена в течение 21 года возделывания посадки и трехлетнем цикле уборки биомассы на 1 т продукции. Так, в разрезе принятых категорий воздействия при средней продуктивности биомассы 17,7 т/га: изменение климата – 237,680 кг экв. CO₂/т; образование фотооксиданта – 0,042 кг экв. C₂H₄/т; окисление – 3,002 кг экв. SO₂/т; эвтрофикация – 1,907 кг экв. PO₄³⁻/т; экологическая токсичность – 10,537 кг экв. C₆H₄Cl₂/т; токсичность для людей – 0,014 DALYs/га; землепользование – 19423,73 PDF·m² год/т. Истощение озона стратосферы и истощение абиотических ресурсов (ископаемые топлива) не выявлено.

Представленные количественные экологические показатели продукции позволяют обосновать выбор оптимальной технологии при сравнении альтернативных вариантов.

➤ Ключевые слова: *оценка жизненного цикла продукции, Life Cycle Assessment, быстрорастущие древесно-кустарниковые породы, ива, Salix alba, клон Волмянка, технологическая карта, категории воздействия, категории воздействия, границы системы.*

Введение

Важность проблемы охраны окружающей среды и возможных воздействий, связанных с изготовляемой и потребляемой продукцией, повышает интерес к разработке методов, направленных на снижение этих воздействий. Одним из методов, разрабатываемых для этой цели, является оценка жизненного цикла продукции (Life Cycle Assessment) [2, 3].

Метод ОЖЦ содействует в: выявлении возможностей улучшения экологических аспектов продукции в различные моменты ее жизненного цикла; информировании сотрудников промышленных, государственных и негосударственных организаций, наделенных правом принимать решения (например, при стратегическом планировании, определении приоритетов, проектировании и перепроектировании продукции или процесса); выборе соответствующих показателей экологической эффективности, включая методы измерений; маркетинге (например, при заявлении об экологическом иске, связанном с системой экологической маркировки или декларацией об экологической чистоте продукции).

Следует отметить, что ОЖЦ – это один из нескольких методов управления окружающей средой (например, оценка риска, оценка экологической эффективности или характеристик экологичности, экологический аудит и оценка воздействий на окружающую среду), и он применим не для всех ситуаций. Как правило, ОЖЦ не касается экономических и социальных аспектов продукции.

ОЖЦ включает в себя рассмотрение всего жизненного цикла продукта от добычи сырья и его приобретения, включая производство энергии, материала и изготовление, до применения продукта и последующего прекращения его использования и окончательной утилизации. При помощи проведения такого систематического анализа и учета перспективы появляется возможность идентификации или исключения смещения потенциальной экологической нагрузки между стадиями жизненного цикла или индивидуальными процессами [3].

Материалы и методы

Исследование продукционной системы производили исходя из экологических перспектив, категорий воздействия, связанных с результатами инвентаризационного анализа жизненного цикла, и выполнено по методическим требованиям международного стандарта ISO 14042:2000 [5]. Алгоритм оценки воздействия жизненного цикла включает фазу обязательных элементов: выбор категории воздействий, показателей категории и характеристических моделей; присвоение категорий результатам ИАЖЦ (инвентаризационного анализа жизненного цикла); расчет значений показателей категорий (определение характеристик).

Принятые категории воздействия: землепользование; изменение климата; истощение озона стратосферы; образование фотооксиданта; окисление; эвтрофикация; совместное действие окисления и эвтрофикации; экологическая токсичность; токсичность для людей.

Показатели категории: потенциально исчезающая часть видов растений в природных зонах; усиление воздействия инфракрасного излучения; количество образованного тропосферного озона; критическая нагрузка по окислению; критическая нагрузка по эвтрофикации; увеличение предсказанной экологической концентрации, деленное на предсказанную концентрацию без наблюдаемого эффекта (PNEC) для пресных и морских вод их донных отложений, а также экосистемы суши; влияние на человека (канцерогенный эффект, респираторный эффект обусловленный органическими и неорганическими веществами, а также изменением климата).

Применительно к выбранным категориям воздействий используются следующие характеристические модели, отражающие экологический механизм:

1) землепользование: модель Eco-indicator 99, позволяет оценить потенциально исчезающую часть видов растений в природных зонах при использовании и преобразовании земель различного пользования [7];

2) изменения климата: модели IPCC, которые обеспечивают характеристические коэффициенты, учитывая возможности глобального потепления для временного горизонта 100 лет [8];

3) истощения озона стратосферы: модель WMO [8, 9], которая обеспечивает учет возможностей истощения озона стратосферы для устойчивого состояния в эквивалентах CFC-11;

4) образования фотооксиданта: модель траектории UNECE [10, 11, 12];

5) окисления: характеристическая модель RAINS, адаптированная к ОЖЦ [14].

6) эвтрофикации: выбран стехиометрический подход, при котором устанавливается эквивалентность макропитательных веществ на основе их появления в биомассе [13];

7) токсичность для человека: модель Eco-indicator 99, которая основана на модели EUSES и дополнена данными Международное агентство по изучению рака (IARC) [6];

8) экологическая токсичность: модель USES-LCA, которая основана на модели RIVM USES 2.0 и адаптированная к ОЖЦ [4];

9) истощение абиотических ресурсов (ископаемые топлива): модель Eco-indicator 99, адаптированная к ОЖЦ [6].

Базовой характеристической моделью оценки выбросов выхлопных газов при использовании моторного топлива принято «Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2013» [15] дополненное [16, 17]. В качестве характеристической модели оценки антропогенного воздействия сельскохозяйственного производства использовалась имитационная почвенно-гидрологическая масштабируемая детерминированная концептуальная модель SWAT (Soil and Water Assessment Tool) [18], дополненная собственными результатами исследований, а также принятых в стране руководящих документов [19, 20]. Характеристическая модель оценки воздействия гербицидов на окружающую среду реализована согласно [5], с учетом эквивалента глифосата действующего вещества клопиралида, содержащегося в гербициде «Лонтрел 300» [21].

Критерии оценки жизненного цикла, в зависимости от предлагаемой технологической карты, рассчитывали в пакете Microsoft Excel по разработанной математической модели «Bio willow».

Результаты и их обсуждение

Границы системы жизненного цикла продукции выявлены с использованием технологической карты производства щепы при возделывании древесно-кустарниковой породы с коротким периодом роста [1] (рис.1).

Технологическая карта состоит из V этапов, включающих 28 технологических операций [1]. Из рисунка видно, что входными потоками границы системы связаны с использованием моторного топлива, гербицидов и минеральных удобрений.

На основании технологической карты потребление дизельного топлива с: основной обработкой почвы, внесением гербицидов сплошного действия, внесением минеральных удобрений составляет

38,01 кг/га; предпосадочной обработкой, посадкой, внесении минеральных удобрений – 12,66 кг/га; уходом за посадкой – 11,39 кг/га; уборкой биомассы – 122,5 кг/га и 38,7 кг/га при ликвидации плантации. Вносимые минеральные удобрения: нитрат аммония, двойной суперфосфат, калий хлористый. Нормы внесения: при закладке плантации $N_{30}P_{50}K_{70}$; при уходе за посадкой $N_{50}P_{30}K_{60}$ [22].

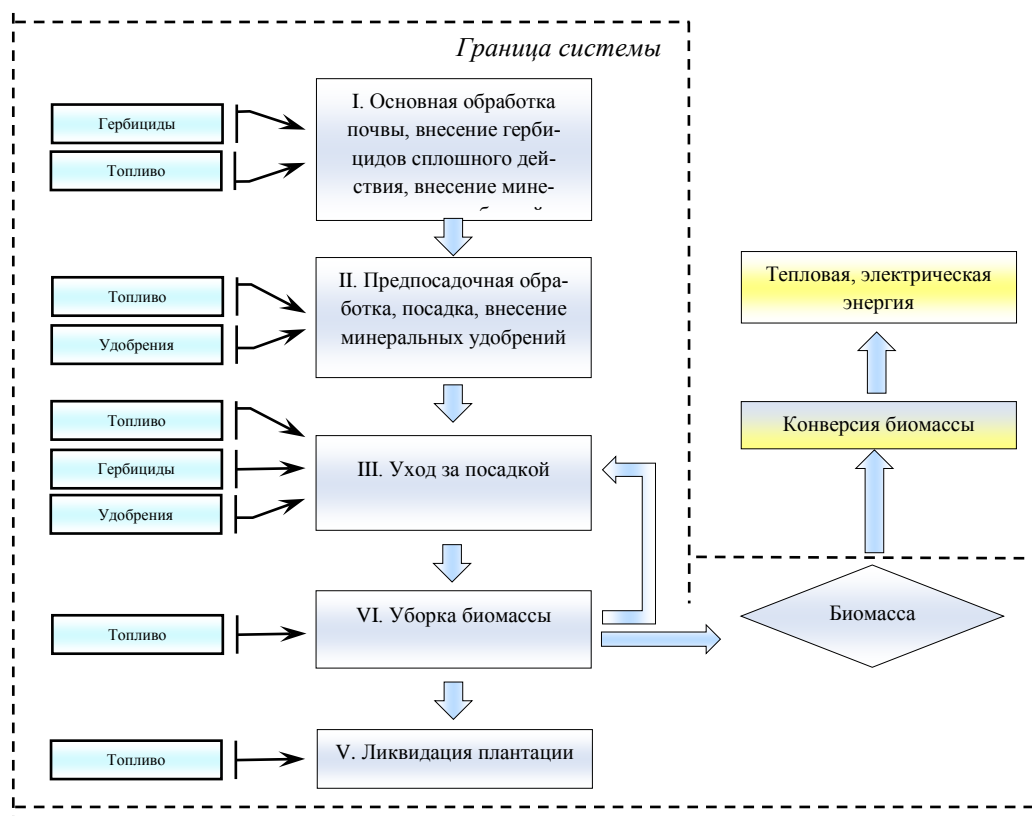


Рисунок 1 – Границы системы жизненного цикла продукции

Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ при использовании дизельного моторного топлива сельскохозяйственной техникой I-V технологических этапов представлены в табл. 1

Таблица 1
Инвентаризационный анализ выбросов в атмосферу загрязняющих веществ при использовании дизельного моторного топлива

Выброс в воздух	Номер технологического этапа				
	I	II	III	IV	V
C_7H_{16} (2-метилгексан), кг/га	3,12E-04	1,24E-04	1,14E-04	1,36E-03	2,30E-03
C_8H_{18} (2-метилгептан), кг/га	1,04E-04	4,14E-05	3,81E-05	4,53E-04	7,67E-04
C_7H_{16} (3-метилгексан), кг/га	1,63E-04	6,51E-05	5,98E-05	7,12E-04	1,21E-03
C_8H_{18} (3-метилгептан), кг/га	1,34E-04	5,33E-05	4,89E-05	5,82E-04	9,86E-04
C_2H_4O (акролеин), кг/га	8,75E-04	3,49E-04	3,21E-04	3,82E-03	6,46E-03
C_nH_{2n} (алкены), кг/га	1,81E-02	5,43E-03	4,98E-03	5,93E-02	1,00E-01
NH_3 (аммиак), кг/га	2,49E-04	1,01E-04	9,11E-05	9,80E-04	3,10E-04
C_nH_{2n-6} (арены), кг/га	1,41E-02	4,25E-03	3,90E-03	4,65E-02	7,86E-02
C_2H_4O (ацетальдегид), кг/га	2,26E-03	9,02E-04	8,28E-04	9,86E-03	1,67E-02
C_2H_2 (ацетилен), кг/га	5,19E-04	2,07E-04	1,90E-04	2,27E-03	3,83E-03
C_7H_6O (бензальдегид), кг/га	6,78E-04	2,70E-04	2,48E-04	2,96E-03	5,00E-03
C_6H_6 (бензол), кг/га	3,46E-05	1,38E-05	1,27E-05	1,51E-04	2,56E-04
C_4H_{10} (бутан), кг/га	7,42E-05	2,96E-05	2,72E-05	3,24E-04	5,48E-04
C_4H_8O (бутаналь), кг/га	4,35E-04	1,74E-04	1,60E-04	1,90E-03	3,21E-03
C_7H_{16} (гептан), кг/га	1,48E-04	5,92E-05	5,44E-05	6,47E-04	1,10E-03
$C_{10}H_{22}$ (декан), кг/га	8,70E-04	3,47E-04	3,19E-04	3,80E-03	6,43E-03
CO_2 (диоксид углерода), кг/га	9,80E-02	4,00E-02	3,60E-02	3,87E-01	1,22E-01
N_2O (закись азота), кг/га	4,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	1,70E-02	5,00E-03
C_4H_{10} (изобутан), кг/га	6,92E-05	2,76E-05	2,54E-05	3,02E-04	5,11E-04
C_4H_8 (изобутилен), кг/га	8,41E-04	3,35E-04	3,08E-04	3,67E-03	6,21E-03

Выброс в воздух	Номер технологического этапа				
	I	II	III	IV	V
C ₄ H ₈ O (изобутиральдегид), кг/га	2,92E-04	1,16E-04	1,07E-04	1,27E-03	2,15E-03
C ₈ H ₁₀ (м, п-ксилол), кг/га	4,85E-04	1,93E-04	1,78E-04	2,11E-03	3,58E-03
CH ₄ (метан), кг/га	2,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	7,00E-03	2,00E-03
CO (оксид углерода), кг/га	3,40E-01	1,38E-01	1,25E-01	1,34E+00	4,23E-01
C ₈ H ₁₀ (о-ксилол), кг/га	1,98E-04	7,89E-05	7,25E-05	8,63E-04	1,46E-03
C ₅ H ₁₂ (пентан), кг/га	2,97E-05	1,18E-05	1,09E-05	1,29E-04	2,19E-04
C ₃ H ₈ (пропан), кг/га	4,95E-05	1,97E-05	1,81E-05	2,16E-04	3,65E-04
C ₃ H ₆ O (пропаналь), кг/га	6,18E-04	2,47E-04	2,27E-04	2,70E-03	4,56E-03
C ₃ H ₆ (пропилен), кг/га	6,53E-04	2,60E-04	2,39E-04	2,85E-03	4,82E-03
C ₈ H ₈ (стирол), кг/га	2,77E-04	1,11E-04	1,02E-04	1,21E-03	2,04E-03
C ₆ H ₅ CH ₃ (толуол), кг/га	4,95E-06	1,97E-06	1,81E-06	2,16E-05	3,65E-05
CH ₂ O (формальдегид), кг/га	4,15E-03	1,66E-03	1,52E-03	1,81E-02	3,07E-02
C ₂ H ₆ (этан), кг/га	1,48E-05	5,92E-06	5,44E-06	6,47E-05	1,10E-04
C ₂ H ₄ (этилен), кг/га	3,47E-03	1,38E-03	1,27E-03	1,51E-02	2,56E-02
NO _x (оксиды азота), кг/га	1,09E+00	4,44E-01	3,99E-01	4,29E+00	1,36E+00
C ₁₈ H ₁₂ (бензотрацен), кг/га	2,49E-06	1,01E-06	9,11E-07	9,80E-06	3,10E-06
C ₂₀ H ₁₂ (бензо(b)флуорантен), кг/га	1,55E-06	6,33E-07	5,70E-07	6,13E-06	1,94E-06
C ₂₂ H ₁₄ (дибензо(a,h)антрацен), кг/га	3,11E-07	1,27E-07	1,14E-07	1,23E-06	3,87E-07
C ₂₀ H ₁₂ (бензо(a)пирен), кг/га	9,32E-07	3,80E-07	3,42E-07	3,68E-06	1,16E-06
C ₁₈ H ₁₂ (хризен), кг/га	6,22E-06	2,53E-06	2,28E-06	2,45E-05	7,74E-06
C ₁₆ H ₁₀ (флуорантен), кг/га	1,40E-05	5,70E-06	5,13E-06	5,51E-05	1,74E-05
C ₁₄ H ₁₀ (фенантрен), кг/га	7,77E-05	3,17E-05	2,85E-05	3,06E-04	9,68E-05
C ₉ H ₁₂ (1,2,3 триметилбензол), кг/га	1,48E-04	5,92E-05	5,44E-05	6,47E-04	1,10E-03
C ₉ H ₁₂ (1,2,4 триметилбензол), кг/га	4,25E-04	1,70E-04	1,56E-04	1,86E-03	3,14E-03
C ₉ H ₁₂ (1,3,5 триметилбензол), кг/га	2,23E-04	8,88E-05	8,16E-05	9,71E-04	1,64E-03
C ₄ H ₆ (1,3-бутадиен), кг/га	1,63E-03	6,51E-04	5,98E-04	7,12E-03	1,21E-02
PM ₁₀ , кг/га	3,24E-02	1,29E-02	1,19E-02	1,41E-01	2,39E-01
PM _{2,5} , кг/га	2,27E-02	9,05E-03	8,31E-03	9,90E-02	1,68E-01
As, кг/га	3,11E-09	1,24E-09	1,14E-09	1,36E-08	2,30E-08
Cd, кг/га	2,70E-07	1,08E-07	9,91E-08	1,18E-06	2,00E-06
Cr, кг/га	9,32E-07	3,72E-07	3,42E-07	4,07E-06	6,88E-06
Cu, кг/га	6,59E-07	2,63E-07	2,42E-07	2,87E-06	4,86E-06
Hg, кг/га	1,65E-07	6,57E-08	6,04E-08	7,18E-07	1,22E-06
Ni, кг/га	2,74E-07	1,09E-07	1,00E-07	1,19E-06	2,02E-06
Pb, кг/га	1,62E-06	6,46E-07	5,93E-07	7,06E-06	1,20E-05
Se, кг/га	3,11E-09	1,24E-09	1,14E-09	1,36E-08	2,30E-08
Zn, кг/га	5,40E-05	2,16E-05	1,98E-05	2,36E-04	3,99E-04

Определенные показатели категорий при использовании дизельного моторного топлива представлены в табл. 2, а при использовании гербицидов и минеральных удобрений в табл. 3–5.

Химическими средствами борьбы сплошного действия для уничтожения сорной и нежелательной растительности применяется гербицид контактного действия – раундап (5 л/га) и гербицид селективного действия – лонтрел 300 (0,5 л/га).

Категория воздействия эвтрофикация оценена с учетом выноса P₂O₅ с тальми водами от 0,05 до 0,15 кг/га, с твердым стоком 0,5–1,5 кг/га [23]. Согласно [15] вымывание N при закладке плантации составило 0,225 кг/га и 0,375 кг/га при уходе за посадкой, а улетучивание 3 и 5 кг/га соответственно.

В разрезе семи трехлетних циклов выбросы парниковых газов в эквиваленте CO₂ составили 4206,94 кг/га. Из них 98,91 % связано с внесением азотных удобрений и 1,09 % при использовании дизельного топлива. Образование тропосферного озона связано только с использованием дизельного топлива и составляет 0,74 экв. C₂H₄ в кг/га. Количество эквивалентов SO₂ связанного с окислением составило 53,13 кг/га. Из них 53,2 % связано с внесением минеральных удобрений и 46,8 % при использовании дизельного топлива. Количество эквивалентов PO₄³⁻ связанного с эвтрофикацией составило 33,75 кг/га. Из них 86,34 % связано с внесением минеральных удобрений и 33,75 % при использовании дизельного топлива. Графическая интерпретация описанных категорий воздействия представлена на рис. 2.

Показатели категорий при использовании дизельного моторного топлива

Номер технологического этапа	Категория воздействия												
	Изменение климата		Образование фотооксидаанта	Окисление	Эвтрофикация	Токсичность для людей			Экологическая токсичность				
						канцерогенный эффект	респираторный эффект от органических выбросов	респираторный эффект от неорганических выбросов	пресных вод	морских вод	донных отложений пресных вод	донных отложений морских вод	экосистемы суши
экв. CO_2 в кг	$DALYs$	экв. C_2H_4 в кг	экв. SO_2 в кг	экв. PO_4^{3-} в кг	$DALYs$			экв. $C_6H_4Cl_2$ в кг					
I	1,40E+00	3,20E-07	2,25E-02	7,59E-01	1,41E-01	1,36E-04	6,05E-08	1,25E-04	5,1E-01	6,9E+00	4,2E-01	7,9E+00	2,6E-02
II	5,70E-01	1,30E-07	9,15E-03	3,09E-01	5,73E-02	5,55E-05	2,03E-08	5,08E-05	2,0E-01	2,7E+00	1,6E-01	3,1E+00	1,0E-02
III	5,13E-01	1,17E-07	8,23E-03	2,78E-01	5,15E-02	4,99E-05	1,80E-08	4,57E-05	1,9E-01	2,5E+00	1,5E-01	2,9E+00	9,6E-03
IV	5,52E+00	1,26E-06	8,85E-02	2,99E+00	5,54E-01	5,37E-04	1,96E-07	4,91E-04	2,2E+00	3,0E+01	1,8E+00	3,3E+01	1,1E-01
V	1,74E+00	3,98E-07	2,80E-02	9,45E-01	1,75E-01	1,70E-04	6,21E-08	1,55E-04	3,7E+00	4,8E+01	2,7E+00	4,9E+01	1,9E-01

Таблица 3

Показатели категорий при использовании гербицидов

Номер технологического этапа	Гербицид	Токсичность для людей	Экологическая токсичность				
		канцерогенный эффект	пресных вод	морских вод	донных отложений пресных вод	донных отложений морских вод	экосистемы суши
		$DALYs$	экв. $C_6H_4Cl_2$ в кг				
I	раундап	3,32E-10	2,83E+00	8,62E-03	2,77E+00	7,70E-03	2,95E-01
III	лонтрел 300	7,40E-10	5,34E+00	1,63E-02	5,23E+00	1,45E-02	5,58E-01

Таблица 4

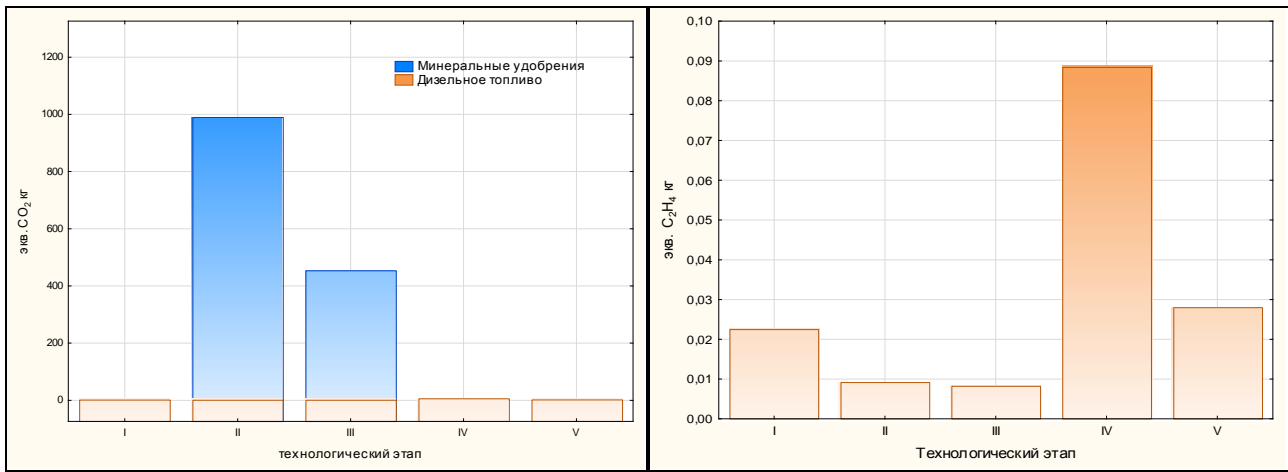
Инвентаризационный анализ выбросов в атмосферу загрязняющих веществ при использовании минеральных удобрений

Номер технологического этапа	Выброс в воздух				
	NH_3 (аммиак), кг/га	NO (оксид азота), кг/га	$HMLOC$, кг/га	PM_{10} , кг/га	$PM_{2,5}$, кг/га
II	2,52E+00	7,80E-01	1,79E-07	4,68E+01	1,80E+00
III	4,20E+00	1,30E+00	2,98E-07	7,80E+01	3,00E+00

Таблица 5

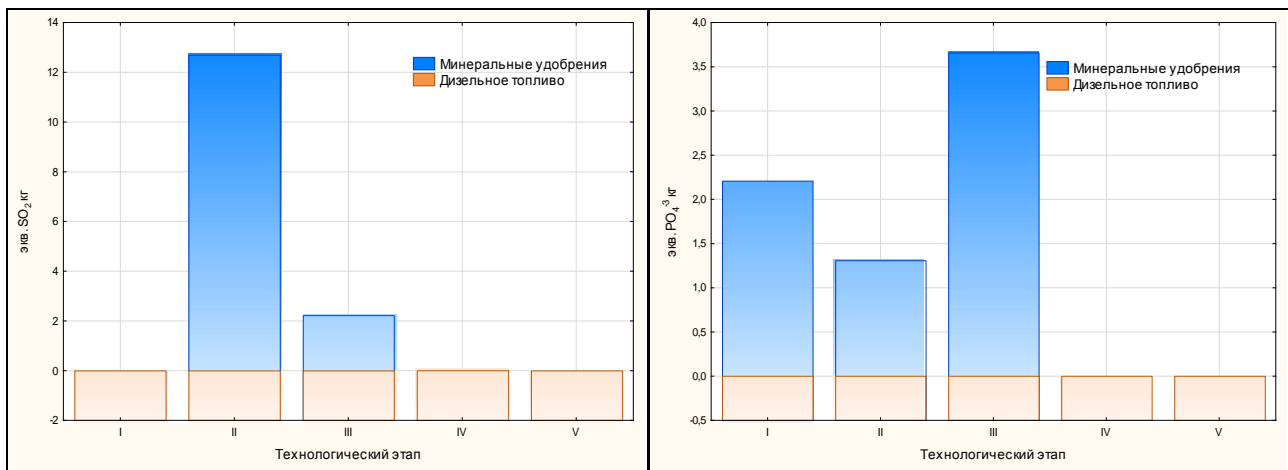
Показатели категорий при использовании минеральных удобрений

Номер технологического этапа	Изменение климата		Окисление	Эвтрофикация	Токсичность для людей
					респираторный эффект от неорганических выбросов
	экв. CO_2 в кг	$DALYs$	экв. SO_2 в кг	экв. PO_4^{3-} в кг	$DALYs$
I	—	—	—	2,21E+00	—
II	9,90E+02	1,05E-04	1,27E+01	1,31E+00	1,91E-02
III	4,53E+02	2,29E-04	2,22E+00	3,66E+00	3,19E-02



а)

б)



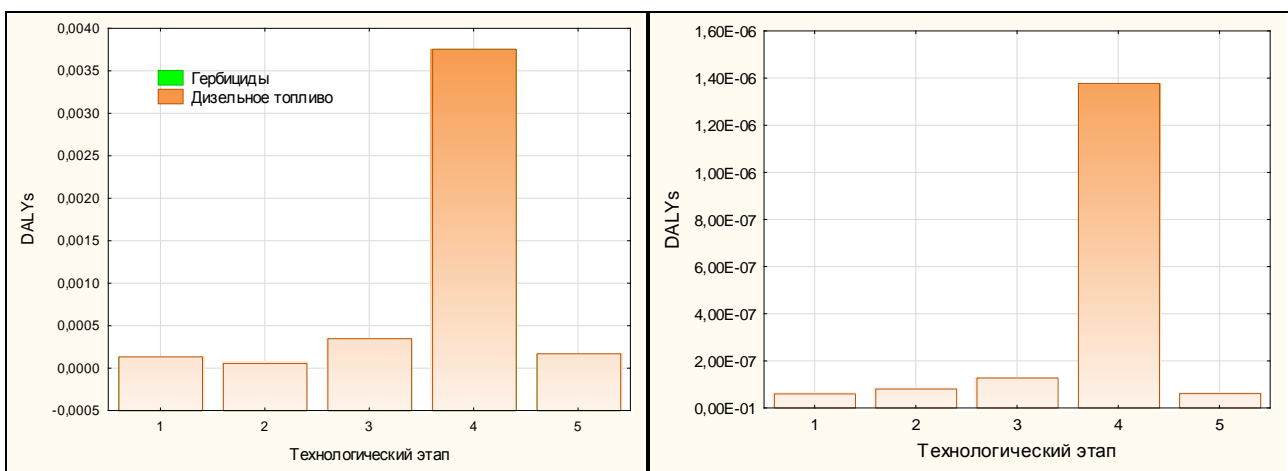
в)

г)

Рисунок 2 – Категория воздействия:

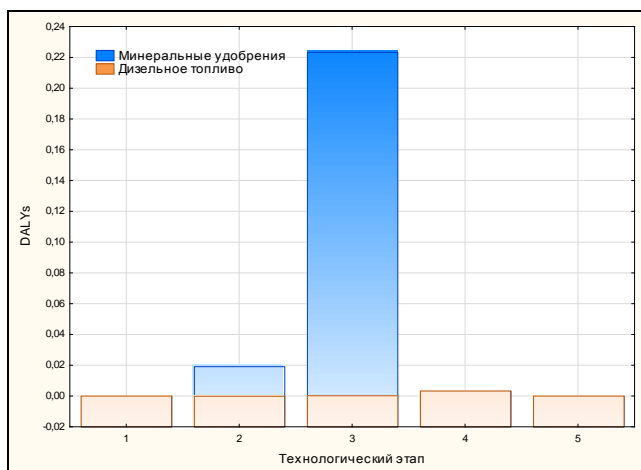
а) изменение климата; б) образование фотооксиданта; в) окисление; г) эвтрофикации

Категория воздействия токсичность на людей (канцерогенный эффект) составляет $4,47E-03$ DALYs/га, что связано с использованием дизельного топлива. Также с использованием только дизельного топлива связан респираторный эффект от органических выбросов который составляет $1,71E-06$ DALYs/га. Респираторный эффект от неорганических выбросов $2,46E-01$ DALYs/га, из них: дизельное топливо 1,66 %; минеральные удобрения 98,34 %. В целом по категории воздействия сумма DALYs/га равна $2,51E-01$ из них на канцерогенный эффект 1,78 %, респираторный эффект от неорганических выбросов 98,22 %, а респираторный эффект от неорганических выбросов 0,0007 % (рис. 3).



а)

б)

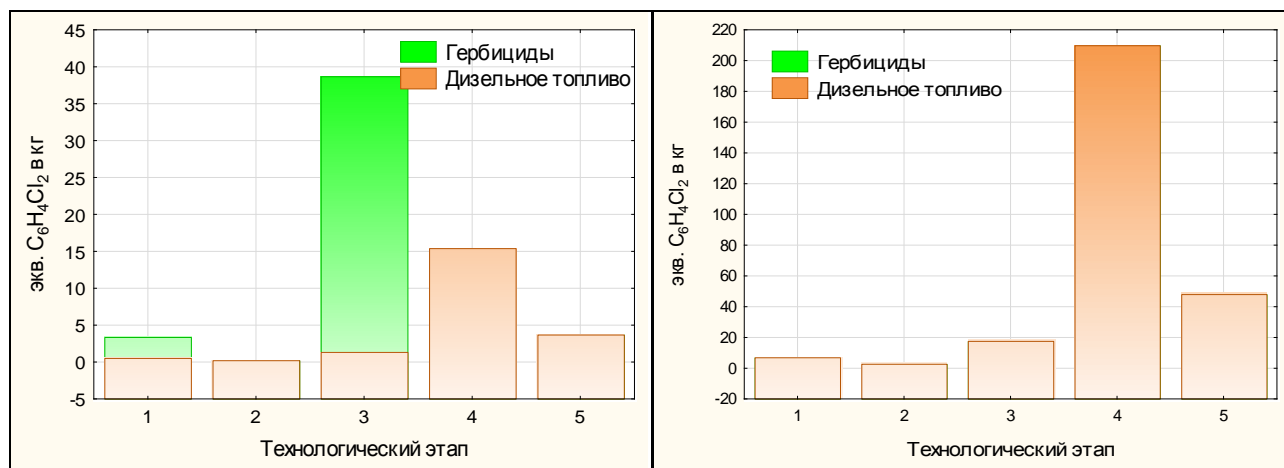


в)

Рисунок 3 – Категория воздействия токсичность на людей: а) канцерогенный эффект; б) респираторный эффект от органических выбросов; в) респираторный эффект от неорганических выбросов

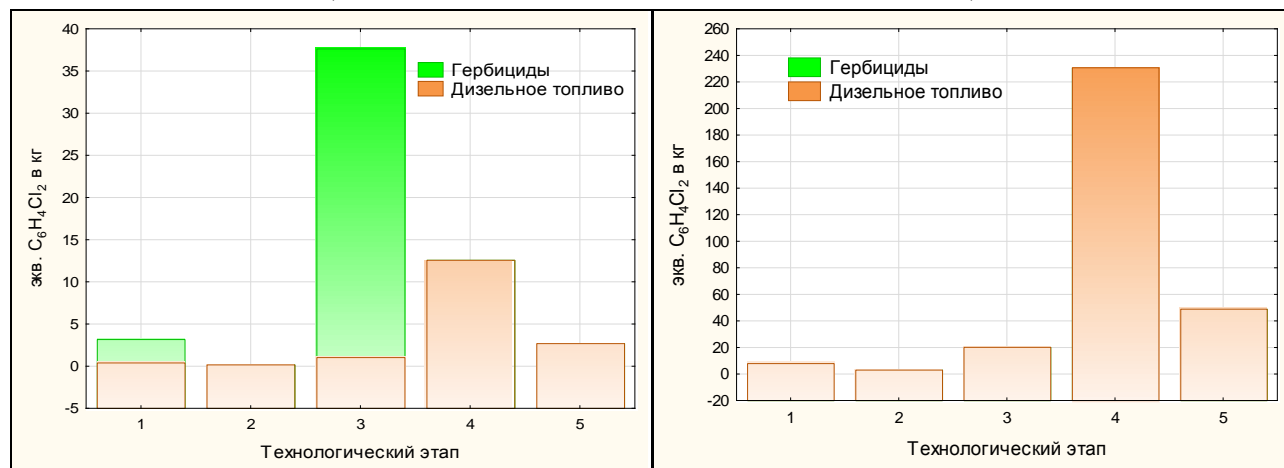
Категория воздействия «экологическая токсичность» для пресных вод составляет 47,01 экв. $C_6H_4Cl_2$ кг/га. Из них на долю гербицидов приходится 85,53 % и 14,47 % на дизельное топливо. Для морских вод – 90,22 экв. $C_6H_4Cl_2$ кг/га. Из них на долю гербицидов 0,14 % и 99,86 % на дизельное топливо. Для донных отложений пресных вод – 44,61 экв. $C_6H_4Cl_2$ кг/га. Из них на долю гербицидов 88,28 % и 11,72 % на дизельное топливо. Для донных отложений морских вод – 96,01 экв. $C_6H_4Cl_2$ кг/га. Из них на долю гербицидов 0,11 % и 99,89 % на дизельное топливо. Для экосистемы суши – 4,55 экв. $C_6H_4Cl_2$ кг/га. Из них на долю гербицидов 92,40 % и 7,60 % на дизельное топливо.

Графическая интерпретация экологической токсичности по технологическим этапам представлена на рис. 4.



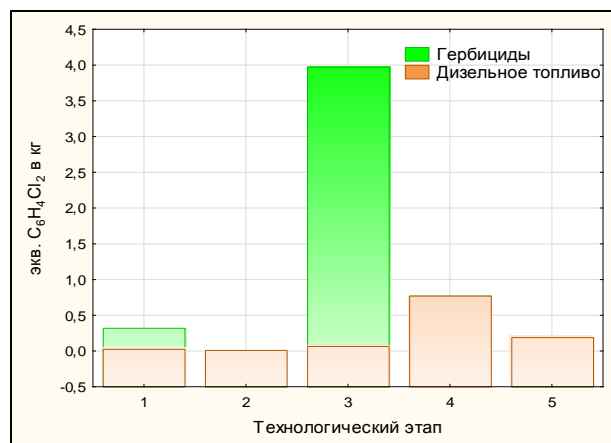
а)

б)



в)

г)



д)

Рисунок 4 – Экологическая токсичность: а) пресных вод; б) морских вод; в) донных отложений пресных вод; г) донных отложений морских вод; д) экосистемы суши

В разрезе семи трехлетних циклов потенциально исчезающая часть видов растений в природных зонах при категории воздействия землепользование составляет 18474,576 PDF·m² год/т.

Истощение озона стратосферы и истощение абиотических ресурсов (ископаемые топлива) не выявлено.

Результаты оценки воздействия жизненного цикла производства щепы при возделывании древесно-кустарниковой породы с коротким периодом роста ивы белой (*Salix alba*) на 1 т продукции представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты ОВЖЦ производства щепы при возделывании ивы белой (*Salix alba*)

Категории воздействия	Единица измерения	Типичное значение	Нижний предел	Верхний предел
Изменение климата	кг CO ₂ /т	140,231	237,680	433,705
Истощение озона стратосферы	кг CFC-11/т	—	—	—
Образование фотооксиданта	кг C ₂ H ₄ /т	0,025	0,042	0,076
Окисление	кг SO ₂ /т	1,771	3,002	5,477
Эвтрофикация	кг PO ₄ ³⁻ /т	1,125	1,907	3,480
Экологическая токсичность	кг C ₆ H ₄ Cl ₂ /т	6,217	10,537	19,227
Токсичность для людей	DALYs/т	0,008	0,014	0,026
Землепользование	PDF·m ² год/т	11 460,0	19 423,73	35 443,3
Истощение абиотических ресурсов (ископаемые топлива)	МДж	—	—	—

Заключение

По результатам исследований разработана математическая модель «Bio willow» реализованная в пакете Microsoft Excel, позволяющая определить критерий оценки воздействия жизненного цикла в зависимости от предлагаемой технологической карты.

Данный подход дает возможность выявить количественные экологические показатели продукции, которые характеризуют возможные последствия в разрезе принятых категорий воздействия, а также обосновать выбор оптимальной технологии при сравнении альтернативных вариантов.

Предложенная модель достаточно успешно может быть адаптирована для других видов ивы, древесно-кустарниковых пород с коротким периодом роста, а также другой растениеводческой продукции, кроме того результаты исследований могут быть востребованы при оценке жизненного цикла с учетом конверсии биомассы.

Список литературы

1. Бутько, А. А., Пашинский, В. А., Родькин, О. И. Оценка энергоёмкости производства щепы при возделывании древесно-кустарниковой породы с коротким периодом роста ивы белой вида *Salix alba*. Энергоэффективность, 2016, № 6. – С. 24–27.
2. ГОСТ Р 56269-2014/ISO/TR 14047:2012 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Примеры применения ИСО 14044 к ситуациям воздействия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 100 с.
3. ISO 14040:2006(E). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Second edition, 2006-07-01, 20 pp.

4. Huijbregts, M. A. J., U. Thissen, J. B. Guinee, T. Jager, D. Van de Meent, A. M. J. Ragas, A. Wegener Sleeswijk & L. Reijnders, 2000a. Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment, I: Calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA. *Chemosphere* 41 (4): 541–573.
5. ISO 14042:2000(E). Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment. First edition, 2000-03-01, 16 pp.
6. The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. methodology report, Third edition PRé Consultants B.V., Amersfoort, The Netherlands 22 June 2000, 132 pp.
7. Solomon, S. D., Qin M., Manning Z., Chen, M., Marquis, K. B., Averyt M., Tignor and H. L. Miller (eds.). *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
8. WMO (World Meteorological Organisation), 1992. Scientific assessment of ozone depletion: 1991. Global Ozone Research and Monitoring Project – Report no. 25. Geneva.
9. WMO (World Meteorological Organisation), 1999. Scientific assessment of ozone depletion: 1998. Global Ozone Research and Monitoring Project – Report no. 44. Geneva.
10. Derwent, R.G., M.E. Jenkin & S.M. Saunders, 1996. Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under European conditions. *Atmos. Environ.* 30 (2): 181-199.
11. Derwent, R.G., M.E. Jenkin, S.M. Saunders & M.J. Pilling, 1998. Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in Northwest Europe calculated with a master chemical mechanism. *Atmos. Environ.* 32 (14-15): 2429–2441.
12. Jenkin, M. E. & G. D. Hayman, 1999. Photochemical ozone creation potentials for oxygenated volatile organic compounds: sensitivity to variations in kinetic and mechanistic parameters. *Atmos. Environ.* 33 (8): 1275–1293.
13. Potting, J., W. Schöpp, K. Blok & M. Hauschild, 1998. Site-dependent life-cycle Impact assessment of acidification. *J. Ind. Ecol.* 2 (2): 63–87.
14. Heijungs, R., J. Guinée, G. Huppes, R. M. Lankreijer, H. A. Udo de Haes, A. Wegener Sleeswijk, A. M. M. Ansems, P. G. Eggels, R. van Duin & H.P. de Goede, 1992. *Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds*. CML, Leiden University, Leiden.
15. Технический отчет ЕАОС № 12/2013. Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2013. Общие руководящие указания по подготовке национальных инвентаризаций выбросов.
16. Technical report No 49 COPERT III. Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (Version 2.1). Leonidas Ntziachristos and Zissis Samaras ETC/AEM With contributions from: S. Eggleston, N. Gorißen, D. Hassel, A.-J. Hickman, R. Joumard, R. Rijkeboer, L. White and K.-H. Zierock November. – Copenhagen, 2000, 89 pp.
17. Technical Report No. 780. Heavy Metal Emissions for Danish Road Transport. Morten Winther, Erik Slentø. National Environmental Research Institute. Aarhus University – Denmark 2010, 99 pp.
18. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R. Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation version 2005, 432 pp.
19. Методика расчета выноса биогенных веществ и оценка перспективного состояния загрязненности малых рек. 0212.19-99 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.levonevski.net/pravo/norm2013/num54/d54494.html>
20. ТКП 17.09-05-2013 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощения парниковых газов. Правила расчетов выбросов парниковых газов в основных секторах экономики Республики Беларусь. – Мн.: Минприроды, 2001. – 59 с.
21. Frischknecht Rolf, Büsser Knöpfel Sybille, 2013: *Swiss Eco-Factors 2013 according to the Ecological Scarcity Method. Methodological fundamentals and their application in Switzerland*. Environmental studies no. 1330. Federal Office for the Environment, Bern: 254 pp.
22. Купцов, Н. С., Попов, Е. Г. Энергоплантации. Справочное пособие по использованию энергетических растений / Н. С. Купцов, Е. Г. Попов. – Минск: Тэхналогія, 2015. – 128 с.
23. Кулаковская, Т. Н. Справочник агрохимика. / Т. Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1974. – 368 с.

A. A. Butko, V. A. Pashynski, O. I. Rodkin

LIFE CYCLE ASSESSMENT CHIPPING AT CULTIVATION OF TREES AND SHRUBS WITH A SHORT PERIOD GROWTH OF WHITE WILLOW (*SALIX ALBA*)

*The article presents the results of the Life Cycle Assessment (LCA), the production of chips in the cultivation of trees and shrubs with a short period of growth – clone Volmyanka white willow species *Salix alba*.*

О. С. Рышкель¹, Е. А. Британ²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

²Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

**ВСТРЕЧАЕМОСТЬ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ
В ЛЕСОПАРКОВЫХ ЗОНАХ ГОРОДА МИНСКА**

В связи с ростом антропогенной нагрузки на естественные экосистемы, остро встает вопрос разработки, оптимизации и грамотного применения методов биоиндикации, которые позволяют своевременно выявить проблему и принять меры по ее решению в области охраны окружающей среды от загрязнения. Разрабатываются и внедряются различные методы биотестирования и биоиндикации. Для оценки степени загрязнения окружающей среды широко применяют методы фитоиндикации с использованием тест-объектов растений. Особый интерес в качестве таких объектов представляют грибы. Анализ видового состава базидиальных грибов позволит предварительно оценить степень загрязнения определенной территории с последующими рекомендациями для организаций и населения.

➤ **Ключевые слова:** экосистемы, загрязнение, биоиндикация, мониторинг, базидиомицеты.

Введение

На протяжении нескольких десятилетий загрязненность окружающей среды и нерациональное использование природных ресурсов угрожает здоровью людей, наносит непоправимый урон среде обитания живых организмов. В настоящее время экологическая ситуация продолжает обостряться и становится глобальной проблемой, для решения которой необходимы усилия всего мирового сообщества.

Основной задачей всех мероприятий в области экологии и рационального природопользования является комплексная оценка качества различных сред. В рамках государственной сети наблюдения такого рода оценку позволяет дать систематический мониторинг, который проводится за несколькими компонентами природной среды. Например, ежедневно на стационарных постах ведется контроль состояния загрязнения атмосферы по содержанию вредных примесей. Регулярные наблюдения за качеством воды ведутся в крупных реках, озерах и водохранилищах страны по наиболее важным гидробиологическим и физико-химическим показателям. Кроме того, отслеживается гранулометрический состав и содержание тяжелых металлов в донных отложениях. Ежедневные измерения мощности экспозиционной дозы гамма излучения на открытой местности, а также проведение обследования отобранных проб почвы на радионуклидный состав, позволяют оценить радиационную ситуацию местности. Мониторинг почв позволяет дать оценку о загрязнении пестицидами в хозяйствах, токсическими веществами промышленного происхождения в крупнейших городах страны и вблизи крупных автомагистралей. Постоянно ведется контроль кислотности осадков и физико-химических показателей в снеге в период максимального залегания. Таким образом, мониторинг – это система долгосрочных наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением и происходящими в ней природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния окружающей природной среды и ее загрязнение. Биологические системы и факторы, влияющие на них, относятся к объектам мониторинга [1, 5, 10, 12].

Многолетние исследования ученых разных стран по контролю состояния окружающей среды подтверждают высокую информативность живых индикаторов, что относится к неопровержимым преимуществам, а именно:

- могут реагировать на относительно слабые воздействия антропогенных факторов вследствие накопительного эффекта;
- отражают состояние окружающей среды в целом, т. е. суммируют влияние всех важных воздействий (загрязнение и другие антропогенные изменения);
- исключают необходимость регистрации химических и физических параметров;
- могут фиксировать скорость изменений;
- помогают определить места и способы накопления загрязнений и ядов в экологических системах;
- дают информацию о степени вредности химических веществ для живой природы и человека;

- дают возможность держать под контролем действие синтезируемых человеком веществ [5, 6, 7].

Интерес к биоиндикационным исследованиям в настоящее время значительно вырос и объясняется это возникшими потребностями в развитии новых подходов для решения задач биологического мониторинга и экологического нормирования антропогенных воздействий. Традиционными объектами, используемыми в качестве биоиндикаторов, являются лишайники, водоросли, зообентос, травянистые растения и их сообщества, древесно-кольцевые структуры, представители почвенной микрофауны [6, 8].

В оценке состояния экосистем и экологическом мониторинге в качестве обязательного компонента особый интерес представляют грибы. И это не случайно. Они широко распространены и принимают участие в образовании растительного покрова лесных, болотных и степных экосистем, участвуют в круговороте биогенных веществ, способны реагировать на изменение окружающей среды, благодаря особенностям анатомо-морфологической структуры и специфике их минерального обмена; способны к первичному перехватыванию и аккумуляции ими различных химических элементов [2, 11, 12].

Использование грибов в качестве индикаторов – сравнительно новое направление биоиндикации и это дает основание для более детального изучения данного вопроса. Цель наших исследований – изучение видового и количественного состава базидиальных грибов города Минска.

Материал и методика исследований

Объект исследований – базидиальные грибы (базидиомицеты), класс высших грибов с особыми органами размножения – базидиями. Их насчитывают более 30 тыс. видов. Многие базидиальные грибы съедобны (белый гриб, лисичка, подосиновик), другие ядовиты (мухомор красный), некоторые вызывают болезни сельскохозяйственных культур и лесных пород [4, 11].

Исследования проводили в лесопарках, которые расположены в черте города Минска и имеют отличия по площади, видовому и количественному составу флоры и фауны, степени промышленной загрязненности, антропогенной нагрузке:

- лесопарк «Зеленый луг» расположен в северо-восточной части города рядом с сосновыми массивами вдоль Слепянского канала, по обе стороны Логойского тракта. В лесопарке преобладают хвойные деревья, особенно сосна, которая растет на песчаных почвах, где вода не застаивается.

- лесопарк «Новинки» находится в Центральном районе города. В этом лесопарке имеются как хвойные, так и лиственные породы.

- заказник «Цнянский» расположен на территории Цнянского водохранилища на севере Минска. Здесь произрастают хвойные и лиственные деревья.

Сбор материала проводили с середины июня до конца сентября, используя детально-маршрутный метод исследований [2, 8]. Для этого выбранную нами территорию обследовали, путем прокладки системы радиальных и произвольно направленных линейных маршрутов, причем эти маршруты охватывали максимальное ландшафтно-топологическое разнообразие данной территории, которые пересекают различные растительные сообщества (фитоценозы) и другие местообитания (отдельно стоящие деревья, озеленительные полосы и др.).

Во время сбора грибов отмечали встречаемость вида по шкале Гааса в баллах [2]:

- 5 – всюду часто,
- 4 – во многих местах,
- 3 – неравномерно, рассеянно,
- 2 – очень рассеянно,
- 1 – единично,
- + – только в одном месте.

Несколько грибов каждого вида складывали в пакет и заполняли этикетку, на которой указывали место сбора образца, фитоценоз, встречаемость, дату, фамилию сборщика.

Повторно встречаемые грибы определенного вида фиксировали для проведения в дальнейшем количественного учета базидиальных грибов по шкале Мозера в модификации Неспека [1, 2]:

- 0,5 – 1 плодовое тело;
- 1 – 2–5 плодовых тел;
- 2 – 6–50 плодовых тел;
- 3 – более 50, до 99 плодовых тел;
- 4 – более 100, до 499 плодовых тел;
- 5 – 500 и более плодовых тел.

Определение, установление систематического положения и описание грибов проводили в лаборатории в день сбора материала, используя определители и монографии [3, 9, 10, 11].

Результаты и их обсуждение

В ходе обследования лесопарков города Минска было обнаружено и описано 8 видов базидиальных грибов:

1. Порядок Агариковые (*Agaricales*).

Масленок поздний (*Suillus luteus*) – род трубчатых грибов семейства Болетовые (*Boletaceae*). Шляпка гладкая, от выпуклой до плоской формы, поверхность клейкая или слизистая, с легко снимающейся кожицей. Под шляпкой возможно наличие частного покрывала. Гименофор (пористая часть мякоти шляпки) легко отделяется от шляпки, на вид желтого или белого цвета, приросший, либо нисходящий по ножке. Ножка сплошная, гладкая или зернистая, иногда с кольцом (остатками частного покрывала). Мякоть беловатая или желтоватая, на срезе может изменять окраску, от синего до красного цвета. Споровый порошок различных оттенков жёлтого цвета.

Белый гриб (*Boletus edulis*) – род трубчатых, семейства Болетовые (*Boletaceae*) – шляпка выпуклая, у старых – плоско-выпуклая, поверхность гладкая или морщинистая; кожица от красно-коричневого до почти белого цвета, приросшая; мякоть крепкая, сочно-мясистая, у старых – волокнистая, белая у молодого гриба, желтеет с возрастом; ножка массивная, бочковидная, беловатая, коричневая; споровый порошок оливково-бурый; споры веретеновидные; цистиды в большом количестве у молодых грибов на поверхности гименофора (хейлоцистиды), палисадно стоящие, образуют войлоковидный слой.

Лисичка обыкновенная (*Cantharellus cibarius*) – род базидиомицетов, семейства Лисичковые (*Cantharellaceae*) – плодовое тело мясистое, воронковидной формы, желтого или красноватого цвета; шляпка мясистая, с толстым тупым краем; гименофор складчатый, неотделяемый от ножки и шляпки; ножка толстая, мясистая, короткая; мякоть белая или желтая; споровый мешок белого цвета.

Сыроежка ломкая (*Russula fragilias*) – род пластинчатых, семейства Сыроежковые (*Russulaceae*) – шляпка сначала шаровидная, позднее плоская или воронковидная, край завернутый или прямой, часто полосатый или рубчатый; кожица сухая, реже влажная, блестящая или матовая; пластинки приросшие, выемчатые, белые или желтоватые; ножка цилиндрическая, ровная, белая или окрашенная; мякоть плотная, хрупкая или губчатая; споровый порошок от белого до темно-жёлтого цвета.

Подберезовик обыкновенный (*Leccinum scabrum*) – род губчатых, семейства Болетовых (*Boletaceae*) – шляпка от белого до темно-серого и почти чёрного; ножка слегка утолщённая, белая, с продольными белыми или тёмными чешуйками; мякоть белая.

Подосиновик красный (*Leccinum aurantiacum*) – род губчатых, семейства Болетовые (*Boletaceae*) – шляпка полушаровидная, легко отделяется от ножки; кожица красная или буровато-красная, гладкая или со слабой бархатистостью, не снимается; мякоть мясистая, плотная, в шляпке упругая, с возрастом становится мягкой, в ножке продольно-волокнистая, цвет на разрезе белый, трубочки с мелкими угловато-округлыми порами; ножка сплошная, серовато-белая, покрыта продольно-волокнистыми чешуйками; споровый порошок оливково-коричневый, споры гладкие.

Мухомор красный (*Amanita muscaria*) – рода мухомор, или Аманита (*Amanita*) – шляпка полушаровидная, затем плоская; кожица ярко-красная, блестящая, усеяна белыми бородавчатыми хлопьями; мякоть белая, пластинки кремовые, частые, свободные; ножка цилиндрическая, белая или желтоватая; пленчатое кольцо свисающее, края неровные; споровый порошок беловатый; споры гладкие.

2. Порядок Афиллофоровые (*Aphyllphorales*).

Трутовик настоящий (*Fomes fomentarius*) – семейство пориевые (*Poraceae*) – плодовое тело: толстое, многолетнее, консольное, сидячее, приросшее боком, сначала почковидное, округлое, позднее копытообразное, твердое, сверху бугорчатое, матовое, с концентрическими валиками и бороздами, более светлыми, коричневатыми по краю, покрытое деревянистой коркой серого, темно-серого или буровато-сероватого, серо-охряного цвета. Нижняя часть горизонтально ровная или чуть выпуклая.

Результаты маршрутных обследований, проведенных на территории лесопарковых зон города Минска за два вегетационных периода, представлены в табл. 1.

Видовой состав базидиальных грибов исследуемых участков представлен 8 видами, среди которых 6 видов относятся к съедобным, 1 вид (мухомор красный) – к ядовитым и 1 вид (трутовик обыкновенный) – к дереворазрушающим.

Наибольшее количество собранных объектов исследования зарегистрировано в лесопарковой зоне Цнянского водохранилища. В результате трех обследований за вегетационный период в среднем за два года было обнаружено 123 плодовых тел различных видов грибов. В структуре исследуемых объектов наибольший удельный вес имеет лисичка обыкновенная (26,0 %) и сыроежка ломкая (21,1 %).

Видовой состав базидиальных грибов в лесопарковых зонах «Новинки» и «Зеленый луг» не отличается от предыдущей обследуемой зоны, однако по количеству встречаемых плодовых тел грибов уступают лесопарковой зоне Цнянского водохранилища. Преобладающими видами съедобных базидиальных грибов являются масленок поздний, лисичка обыкновенная и сыроежка ломкая.

Видовой и количественный состав базидиальных грибов в лесопарковых зонах города Минска

Вид	Лесопарковая зона					
	«Цнянский»		«Новинки»		«Зеленый луг»	
	Количество плодовых тел, шт	Индекс встречаемости, %	Количество плодовых тел, шт	Индекс встречаемости, %	Количество плодовых тел, шт	Индекс встречаемости, %
Масленок поздний	16	13,0	17	18,7	13	17,1
Белый гриб	3	2,4	1	1,1	—	—
Лисичка обыкновенная	32	26,0	14	15,4	17	22,4
Сыроежка ломкая	26	21,1	19	20,9	14	18,4
Подберезовик обыкновенный	4	3,3	3	3,3	2	2,6
Подосиновик красный	3	2,4	2	2,2	3	3,9
Мухомор красный	16	13,0	17	18,7	13	17,2
Трутовик настоящий	23	18,8	18	19,8	14	18,4
Всего	123		91		76	

Дереворазрушающий гриб (трутовик настоящий) и несъедобный гриб (мухомор красный) на территории всех трех лесопарковых зон города Минска встречались достаточно часто – индекс встречаемость составил 18,8 %, 19,8 % и 18,4 % соответственно.

Балльная оценка по шкале Гааса и по шкале Мозера в модификации Неспека дает более наглядное представление о встречаемости и количестве базидиальных грибов на обследованных территориях лесопарковых зон города Минска (табл. 2).

Таблица 2

Балльная оценка встречаемость и количества базидиальных грибов г. Минска

Вид	Лесопарковая зона		
	«Цнянский»	«Новинки»	«Зеленый луг»
Встречаемость по шкале Гааса, балл			
Масленок поздний	3	4	4
Белый гриб	1	+	-
Лисичка обыкновенная	4	4	2
Сыроежка ломкая	4	4	4
Подберезовик обыкновенный	1	1	1
Подосиновик красный	1	1	1
Мухомор красный	3	3	3
Трутовик настоящий	3	3	2
Количество грибов по шкале Мозера в модификации Неспека, балл			
Масленок поздний	2	2	2
Белый гриб	1	0,5	-
Лисичка обыкновенная	2	2	2
Сыроежка ломкая	2	2	2
Подберезовик обыкновенный	1	1	1
Подосиновик красный	1	1	1
Мухомор красный	2	2	2
Трутовик настоящий	2	2	2

Встречаемость различных видов базидиальных грибов по шкале Гааса имела большую вариативность. Такие виды базидиальных грибов, как белый гриб, подберезовик обыкновенный, подосиновик красный встречались единично или только в одном месте. Мухомор красный и трутовик обыкновенный распределялись на территории неравномерно, рассеяно, а оставшиеся виды – во многих местах.

Количество базидиальных грибов по шкале Мозера в модификации Неспека соответствует баллам от 0,5 до 2 в зависимости от вида на всех трех участках. С учетом воздействия человека на лесопарковые зоны, как территории отдыха, полученные значения являются достаточно высокими.

Заклучение

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что в лесных сообществах грибы являются важнейшим компонентом, который принимает участие в круговороте биогенных веществ. Наличие в лесопарковых зонах города Минска различных видов базидиальных грибов указывает на полноценность растительного биоценоза, несмотря на то, что свой отпечаток на исследуемые территории оказывает антропогенный прессинг.

При обследовании лесопарковых зон города были выявлены плодовые тела базидиальных грибов 8 видов, которые чаще всего встречались и относились к съедобным, ядовитым и дереворазрушающим. Наибольшее их количество отмечено на территории Цнянского водохранилища (123 плодовых тела), а наименьшее – в лесопарковой зоне «Зеленый луг» (76 плодовых тел). На третьей исследуемой территории лесопарка «Новинки» обнаружено 91 плодовое тело грибов.

На всех трех обследуемых территориях структурное распределение обнаруженных видов имеет сходный характер. Следует отметить, что некоторые виды (белый гриб, подберезовик обыкновенный и подосиновик красный) встречаются единично, а все остальные виды довольно часто, при этом мухомор красный и трутувик обыкновенный – неравномерно и рассеяно, а масленок поздний, лисичка обыкновенная и сыроежка ломкая – во многих местах.

Список литературы

1. Баккал, И. Ю. Количественная оценка биоразнообразия / И. Ю. Баккал, В. В. Горшков // Методы изучения лесных сообществ / НИИ Химии СПбГУ. – СПб, 2002. – С. 127–130.
2. Великанов, Л. Л. Полевая практика по экологии грибов и лишайников / Л. Л. Великанов, И. И. Сидорова, Г. Д. Успенская. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 112 с.
3. Змитрович, И. В. Определитель грибов России / И. В. Змитрович. – М. – СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 278 с.
4. Колонтаева, Н. В. Ксилотрофные базидиомицеты в условиях атмосферного загрязнения / Н.В. Колонтаева // Современная микология в России. – М, 2002. – С. 59.
5. Кузнецова, Н. А. Биоиндикация и биологический мониторинг / Н. А. Кузнецова // Мониторинг и методы контроля окружающей среды. Ч.2. Специальная. // М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. – С. 209–237.
6. Мандра, Ю. А. Место и роль фитоиндикации в общей системе экологического мониторинга / Ю. А. Мандра // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – №1. – С. 74–79.
7. Мелехова, О. П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е издание, испр. / О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева, Т. И. Евсеева. – М.:Издательский центр «Академия», 2008.
8. Основные методы фитопатологических исследований / под ред.: А. Е. Чумаков, И. И. Минкевич, Ю. И. Власов, Е. А. Гаврилова. – М., 1974. – 192 с.
9. Определитель высших растений Беларуси. / под ред.: В. И. Парфенова. – Минск: Дизайн ПРО, 1999. – 320 с.
10. Федоров, Н. И. Исследования в области лесной микологии и фитопатологии в Беларуси / Н. И. Федоров // Биология, систематика и экология грибов в природных экосистемах и агрофитоценозах: материалы международной научной конференции, Минск, 20-24 сентября 2004 г. / Минск: «Право и экономика», 2004. – 235–239 с.
11. Федоров, Н. И. Лесная фитопатология: учеб. для студентов специальности «Лесное хозяйство» / Н. И. Федоров. – Минск: БГТУ, 2004. – 178 с.
12. Храмцов, А. К. О редких видах грибов на территории Беларуси / А. К. Храмцов, А. В. Шальпина, А. Н. Лукшиц // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века: материалы 11-й междунар. науч. конф., Минск, 19–20 мая 2011 г. / МГЭУ им. А. Д. Сахарова Минск, 2011. – С. 213–214.

O. S. Ryshkel, E. A. Britan

THE OCCURRENCE OF BASIDIOMYCETOUS FUNGIES IN THE FOREST AREAS OF MINSK

In connection with the growth of anthropogenic load on natural ecosystems, there is an issue of development, optimization and correct application of the methods of bioindication methods that allow you to quickly identify the problem and take steps to address it in the field of environmental protection from pollution. Developed and implemented various methods of biotesting and bioindication methods. To assess the degree of environmental pollution, widely used methods of phytoindication using test-objects of plants. Of particular interest as these objects represent mushrooms. Analysis videogo composition of basidiomycetes will allow a preliminary assessment of the degree of contamination of a certain area followed by recommendations for the organization and the public.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

УДК ШРИФТ 11 ПТ, КУРСИВ

И. О. Фамилия (12 пт, полужирный)

Организация (11 пт, полужирный, курсив)

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (ПО ЦЕНТРУ, НЕ БОЛЕЕ ТРЕХ СТРОК, ШРИФТ ARIAL, ПОЛУЖИРНЫЙ 12 ПТ)

Статья, направляемая в редакцию рецензируемого журнала, должна быть комплектна, тщательно отредактирована, представлена на CD-диске или направлена в адрес редакции по электронной почте и оформлена в стандарте Microsoft Word. CD-диск необходимо подписать следующим образом: фамилия и инициалы авторов, название статьи. Название файла в электронном виде должно содержать фамилию и инициалы автора, организацию на русском языке, а также e-mail и контактные телефоны.

Одновременно с CD-диском представляется два экземпляра статьи. Страницы должны быть пронумерованы от первой до последней.

К статье прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати и письмо направляющей организации.

Поступившие в редакцию статьи направляются на рецензирование профильным специалистам. Основным критерием целесообразности публикации является новизна и информативность статьи. Если по рекомендациям рецензента статья возвращается автору на доработку, а переработанная рукопись вновь рассматривается редколлегией, датой поступления считается день получения редакцией ее окончательного варианта. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Оформление статьи должно удовлетворять следующим требованиям.

Поля. Верхнее – 30 мм, нижнее – 25 мм, левое – 35 мм, правое – 15 мм.

Основной текст статьи. Шрифт Times New Roman, 11 пт. Межстрочный интервал одинарный, абзац 10 мм. Устанавливается расстановка переносов – автоматическая, язык – русский (в т. ч. для текстов на белорусском языке) или английский.

Объем статьи как правило не должен превышать 10 страниц, включая рисунки и фотографии (всего не более 5), библиографический список (не более 15 источников, оформление по инструкции ВАК Беларуси). Рисунки или фотографии, помеченные буквами *a*, *b*, *в*, считаются отдельными. Текст может включать в себя разделы, например: «Введение», «Постановка задачи», «Методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы» и т. п.

Принятые обозначения расшифровываются непосредственно в тексте статьи. Не следует употреблять сокращенные слова, кроме общепринятых (т. к., т. е., и т. д., и т. п.).

Размерность всех физических величин должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

Таблицы располагаются после первого упоминания в тексте. При этом они не должны дублировать графики. Все таблицы должны иметь название и порядковый номер. Название располагается по центру. Табличные данные – по центру или выравниваются по левому краю, шрифт Times New Roman 10 пт, начертание обычное.

Иллюстрации располагаются после первого упоминания в тексте. Каждая иллюстрация должна иметь подрисуночную подпись, которая не должна дублироваться в тексте (шрифт Times New Roman 10 пт).

Рисунки выполняются во встроенном графическом редакторе MS Word. Позиции на рисунке должны располагаться по часовой стрелке. Рисунки необходимо предоставлять в редактируемом формате.

Графики и диаграммы представляются как рисунки, выполняются в графическом редакторе, совместимом с Microsoft Word. Для названия осей координат и указания их размерности применяют шрифт Times New Roman 10 пт, обычный. Для заливки выбирают контрастные цвета черно-белой гаммы или штриховку в различных направлениях.

Фотографии должны иметь контрастное черно-белое изображение. В электронном виде фотографии предоставляются в следующих стандартах: растровой графики JPG, Tiff, BMP, PCX разрешением 300 dpi или векторной графики EMF.

Аннотация. Набор текста: шрифт Times New Roman 11 пт, курсив, межстрочный интервал одинарный. Абзац 10 мм. *Приводится в начале статьи, после заглавия, на языке текста публикуемого материала.* Текст аннотации должен содержать краткую информацию (до 10 строк) об основных идеях и результатах исследований, отражать, что нового несет в себе работа в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению. При изложении материала следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных документов, избегать сложных грамматических оборотов. Необходимо использовать стандартизованную терминологию, избегать малораспространенных терминов и символов.

Ключевые слова выбирают из текста публикуемого материала и помещают отдельной строкой после аннотации и перед текстом статьи.

Резюме необходимо приводить на английском языке (если статья англоязычная, резюме должно быть на русском языке) и помещать после текста статьи и списка литературы. Резюме сопровождается фамилиями с инициалами авторов.

Литература приводится общим списком (не более 15 источников) в алфавитном порядке или очередности упоминания в конце статьи. В заглавии библиографического списка использовать слово «Список» (например, «Список литературы»). Список литературы должен быть составлен в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 в порядке ссылок в тексте, которые помещаются в квадратные скобки: [1, с. 12] или [1]. Литературные источники содержат фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала или сборника, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, место издания, издательство, год, количество страниц. Шрифт Times New Roman 11 пт, обычный. Нумерация списка автоматическая, без абзаца.

ВНИМАНИЕ! *Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения, не искажающие основное содержание статьи.*