

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№ 1 (35)
ЯНВАРЬ–МАРТ 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)
И. 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 физ.-мат. 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) 230 73 72, факс: (017) 230 68 97
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 *В. Ч. Миколаевич*
Корректор *А. В. Красуцкая*

Подписано в печать 04.04.2016 г. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 17,25. Уч.-изд. л. 11,9. Тираж 100 экз. Заказ 479. 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
Ч. С. Кирвель ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ И ПРОБЛЕМА СМЕНЫ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ СОЦИУМА.....	5
Ван Шивэй, М. Г. Ясовеев ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА КИТАЯ.....	15
Н. Н. Талецкая СИСТЕМА ШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ФЕДЕРАТИВНОЙ РЕСПУБЛИКЕ ГЕРМАНИЯ	20
ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ	25
А. Н. Крицкая, Н. Г. Галиновский НАСЕЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ, ОБИТАЮЩИХ НА ОТВАЛАХ ФОСФОГИПСА ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД».....	25
Е. И. Тарун, А. В. Храповицкая, Е. Ю. Шидловская, В. П. Курченко АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ ГОЛУБИКИ И БРУСНИКИ	33
Ж. А. Рупасова, И. И. Лиштван, В. В. Титок, А. П. Яковлев, Т. И. Василевская, Н. Б. Криницкая, Л. В. Гончарова ВЛИЯНИЕ РОСТРЕГУЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ГОЛУБИКИ НА ВЫРАБОТАННОМ УЧАСТКЕ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА СЕВЕРЕ БЕЛАРУСИ	40
Л. С. Чумаков, М. А. Невердасова ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАВЯНИСТЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ И ЗОЛОТАРНИКА КАНАДСКОГО (<i>SOLIDAGO CANADENSIS</i> L.) ПОД ПОЛОГОМ ГОРОДСКИХ ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ.....	46
Т. П. Сергеева, Е. Г. Смирнова, В. И. Казанцева ИНДИКАЦИОННАЯ РОЛЬ САРАНЧОВЫХ (INSECTA : ACRIDIDAE) ОСУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ.....	57
Ю. Г. Лях ЗНАЧЕНИЕ КАРАНТИННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ШИРОКОЙ РЕАКЛИМАТИЗАЦИИ ОЛЕНЯ БЛАГОРОДНОГО В БЕЛАРУСИ	65
Н. В. Николаева, К. Г. Гаркава АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ ДРЕВЕСНЫХ АЛЛЕРГЕНОВ	72

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ	78
Е. М. Шпадарук, Р. М. Смолякова	
ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛЕТОЧНОЙ РЕАКТИВНОСТИ ГОМЕОСТАЗА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ, СТРАДАЮЩИХ РАКОМ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ	78
В. Д. Свирид, А. Н. Батян	
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИПОТАЛАМО-ГИПОФИЗ-НАДПОЧЕЧНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ АККЛИМАЦИИ К ТЕПЛОМУ И ХОЛОДОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАЗЛИЧНОЙ МОДАЛЬНОСТИ.....	86
В. А. Мельник	
ДИНАМИКА ВО ВРЕМЕНИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ШКОЛЬНИКОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНИВШЕЙСЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРОЖИВАНИЯ	90
В. П. Курчин, Р. М. Смолякова, А. В. Бамбиза, В. А. Матусевич	
МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПЛОСКОКЛЕТОЧНОГО РАКА ЛЕГКОГО.....	99
Д. Б. Нижегородова, А. С. Щеколова, А. И. Зинченко, М. Ю. Юркевич, Г. И. Иванчик, М. М. Зафранская, С. Б. Бокуть	
ВЛИЯНИЕ c-di-GMP НА ПРОДУКЦИЮ ИНТЕРФЕРОНА- γ МОНОНУКЛЕАРАМИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ IN VITRO.....	105
ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ	111
Т. В. Макаренко, Н. М. Силивончик	
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ВОДЕ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ Г. ГОМЕЛЯ	111
А. А. Шиманская, С. С. Позняк	
ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕДИ, ЦИНКА И СВИНЦА В ПОЙМЕННЫХ ПОЧВАХ МОЗЫРСКОГО ПОЛЕСЬЯ.....	118
Р. К. Спиров, А. Н. Никитин	
НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В СПЕКТРОМЕТРИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ.....	124
А. В. Бурло, А. А. Чувашова, А. М. Павлюченко, Н. В. Лещинская, И.П. Наркевич	
ЭМИССИЯ ЗАКИСИ АЗОТА НАРУШЕННЫМИ ТОРФЯНЫМИ ПОЧВАМИ: КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА И ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ	129
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ	137

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

УДК 303.425.4

Ч. С. Курвель

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
г. Гродно, Республика Беларусь*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ И ПРОБЛЕМА СМЕНЫ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ СОЦИУМА

В статье обоснована мысль, что экологический императив принципиально несовместим с утвердившейся в современном мире экономоцентрической моделью развития, с процессом превращения рыночной экономики «в рыночное общество», придания экономизму характера тоталитарной идеологии. Главное содержание статьи посвящено проблеме формирования соответствующих экономических приоритетов XXI столетия новой картины мира и нового практического отношения к действительности, исследованию возможностей и перспектив перехода от техногенно-потребительской к духовно-экологической цивилизации.

➤ **Ключевые слова:** *риски экологические, экологический императив, цивилизационный кризис, глобальный капитализм, экономоцентризм, рыночное общество, самовозрастание капитала, тирания капитала, меркантилизм, монетаризм, потребительство, экологический онтогонизм, экологическая эксплуатация, альтернативы развития, этикоцентризм, духовно-экологическая цивилизация.*

Социальные философы, футурологи, экологи, просто мыслящие люди разных мировоззренческих ориентаций и взглядов с все более развернутой аргументацией и доказательностью пишут о том, что мы находимся накануне «бури тысячелетия», характеризуют современные мировые процессы, не иначе как в терминах турбулентности, говорят о надвигающейся «смене эпох».

Изменения негативного характера ныне получают необычайно интенсивное распространение и развитие. Здесь уместно вспомнить блестящую фразу, высказанную в свое время Ф. Энгельсом: «Кипит котел у чародейки Истории, чем дальше, тем быстрее идет дело». Сегодня, похоже, это дело подвело наш мир к ситуации «взрыва»: давление внутри котла истории вот-вот должно разнести его в клочья. «Человечество оказалось перед дилеммой: либо гибель популяции homo sapiens, либо коренное переустройство отношения к природе и самому себе... Человек так разогнал колесницу истории, что порой не видит возможности удержаться в ней» [1, с. 119–120].

Уже становится очевидным многим, что современная экономическая система глобального капитализма накопила огромный потенциал внутренней нестабильности и саморазрушения. Что позволяет сегодняшние фундаментальные, социально-экономические и ценностно-антропологические изменения в их совокупности идентифицировать как *глобальный цивилизационный кризис*, как «точку бифуркации» глобального масштаба, угрожающую самим основам человеческого существования.

Альтернативы современному миропорядку, зашедшему в исторический тупик, возможны и необходимы. Однако важно еще до того как надвигающиеся перемены разрушат все защитные цивилизационные механизмы, успеть их выдвинуть и осмыслить, т. е., по сути дела, провозгласить новый цивилизационный проект.

Какие же конкретно глобального характера задачи стоят сегодня перед человечеством?

Человечество сегодня, чтобы сохранить себя, должно решить две взаимосвязанные задачи: 1) *обезопасить себя от духовного вырождения и деградации, саморазрушения себя изнутри в результате эрозии «экологии души», утери человеком человеческого; 2) обезопасить себя от разрушения внешней среды обитания, коллапса биосферы, эрозии «экологии природы».* В этом, возможно, и есть смысл истории [2, с. 78–79].

Сосредоточим наше внимание на второй задаче – предотвращение разрушения внешней среды обитания человека, биосферы. Ибо без решения проблемы выживания человечества, т. е. без «ответа» на «вызов», которым сегодня является экологический кризис, решение всех других проблем может оказаться, даже в недалекой исторической перспективе, лишеным смысла.

Современный экологический кризис является кризисом самого способа самореализации человека, выступает как кризис цивилизации и культуры, и потому он может быть преодолен только на основе формирования новой парадигмы развития общества. Если оставить в стороне шумные информационные кампании в средствах массовой информации, пафосную риторику предвыборных обещаний и различного рода лукавые идеологические проповеди, то можно констатировать, что вплоть до сегодняшнего дня фактически не было предпринято сколько-нибудь эффективных практических действий, направленных на преодоление экологического кризиса. Даже отнюдь не радикального характера решения Всемирного саммита, состоявшегося в Рио-де-Жанейро 25 лет назад, являются столь же далекими от осуществления, как и в момент, их принятия. Нереализуемыми остаются не только международные, но и региональные экологические инициативы. Смеем утверждать, что и ничего не будет реализуемо в плане преодоления экологического кризиса до тех пор, пока продолжает господствовать утвердившаяся на европейском континенте в эпоху Нового времени эконоцентрическая парадигма развития общества. Ядро этой парадигмы, ее главная пружина – предпринимательская экономика, основанная на принципе получения максимальной прибыли, закон самовозрастания капитала, который ни перед чем не останавливается, ни на что не реагирует, подминая под себя в своем движении народы, государства, континенты и даже тех субъектов, в личности которых он персонафицируется. Именно эта сила с нарастающей скоростью погружает наш мир в ситуацию глобальной нестабильности, грозящей трансформироваться в катастрофу вселенского масштаба. Вся проблема состоит в том, что в утвердившейся ныне модели развития социума каждый человек и все сферы его жизнедеятельности, культура, наука, образование направлены только на получение прибыли, на безостановочное прокручивание капитала.

Цивилизация, для которой характерен всеохватывающий меркантилизм и монетаризм, культ денег, власть денег, расширение пространства денег, усиление влияния денег на любые проявления человеческой активности и жизнедеятельности общества, становится принципиально несовместима с экологическими, нравственными и, в целом, социокультурными императивами, призванными обеспечить выживание человечества. Поэтому, как считают многие исследователи, скоро глобальному доминированию Запада придет конец – по той причине, что та модель бездуховного эконоцентризма, которую Запад навязал человечеству, нежизнеспособна ни социально, ни экологически.

В современном капиталистическом обществе принципы рыночной экономики определяют такое применение природных ресурсов и факторов производства (капитал, труд, информация и др.), которое предполагает максимальную эффективность их отдачи. Механизмы рынка, ориентированные на потребительские предпочтения и прибыль, не только не содержат, но исключают возможность учета экологической составляющей производства. По мнению авторов одного из докладов Римскому клубу, «...рынок – это всего лишь инструмент, а не религия; средство, а не цель... Он не всесилен, и опасно полагать, в частности, что рынок может заменить этику и политику» [3, р. 154].

Можно определенно утверждать, что господствующая роль институтов рынка в обществе вступает в противоречие с потребностями социокультурного развития человечества в долгосрочной перспективе. Рыночные стимулы по своему определению не могут быть нацелены на инвестиции в будущее – в сбережение природных ресурсов и защиту окружающей среды, в духовно-нравственное и физическое здоровье людей, в воспитание и образование. Здравый смысл миллионов, а не избранных «джентльменов удачи», не позволяет уповать на рынок как на главный регулятор общественной жизни. Сам по себе он не способен гармонизировать нематериальные стороны жизни, в особенности человеческие отношения. Подлинная культура при нем становится нерентабельной. Показатели рыночного успеха не дают адекватного отражения многообразных и все более значимых измерений качества жизни, они скорее вводят в заблуждение там, где затрагиваются долгосрочные интересы и цели*. Навязы-

* Многие апологеты экономического детерминизма, наверное, всему сказанному могут возразить, заметив, что сегодня в странах с развитой рыночной экономикой постоянно осуществляется совершенствование природного законодательства, оптимизация собственного природопользования, создание заповедников и воспитание бережного отношения к природе у своих граждан. Однако такого рода аргументы могут возыметь воздействие только на сознание тех людей, которые специально не занимаются экологической проблематикой. В действительности, экономия западными странами собственных природных ресурсов – это «прямое нарушение природосбережения стран третьего мира, истощения их запасов... Богатые развитые страны не желают ограничивать уровень потребления, а создаваемый через СМИ и средства массовой культуры «идеал общества потребления», идеал нетрудового существования влечет на этот путь остальные общества и государства, находящиеся на более низкой ступени мирового потребления. Они тоже судорожно пытаются достичь вождя состояния, безумно вывозят и распродают свои ресурсы опять-таки на Запад... Финансовая политика МВФ и МБРР ведет к унификации социально-производственных связей, потере цивилизационной самобытности и, тем самым, необходимой меры разнообразия в природопользовании и решении экологических проблем» [4, с. 229].

вая обывателю бесконечную смену (выбор) потребительских товаров и погружая его в мир искусственных (надуманных) потребностей, капиталистическая рыночная экономика резко сужает спектр выбора естественных, чисто человеческих благ и потребностей, таких как душевное спокойствие и равновесие, радость общения с нетронутой природой, возможность дышать чистым воздухом и т. п. Неудивительно поэтому, что бездумное потребительство (как и алкогольная или наркотическая зависимость) зачастую становится источником разочарований, недовольства, стрессов, ощущения бессмысленности жизни и т. д. С этой точки зрения все видимые достижения предпринимательской экономики, нацеленной на получение максимальной прибыли, – одно и то же не главное из измерений качества жизни людей.

Размышляя о перспективах развития современного общества, мы должны отдавать себе отчет в том, что корни экологического кризиса погружены в глубины европейской истории, что наиболее существенные предпосылки того тупика, в который попало сегодня человечество, были заложены именно в Западной Европе.

Выдвинем тезис: для того, чтобы экологизация развития социума стала реальностью, необходим слом всех механизмов предпринимательской экономики в том виде, как они утвердились в Западной Европе, отказ от вульгарно трактуемого принципа экономического детерминизма. Ибо сегодня экономизм в качестве идеологического постулата, стал серьезным препятствием не только на пути утверждения экологических приоритетов современности, но и препятствием к адекватному осознанию ценности духовных, культурно-образовательных компонентов в реализации стратегических целей общества.

Мы сегодня, оказавшись в зоне сильного воздействия евроамериканской техногенно-потребительской цивилизации, сверх всякой меры экономизировали наше отношение к жизни, впали в болезнь экономизма и в «религию прогресса», стали все или почти все, включая человеческое тело, дух и душу рассматривать через призму коммерческого интереса, забыв при этом, что экономика всего лишь часть общественной жизни. Болезнь экономизма (господство экономики в обществе) породили небывало примитивный тип человека – homo economicus, для которого только деньги стали мерой жизненного успеха, единственной мотивацией жизненных ориентаций и поступков. В результате прогрессом объявляется все то, что помогает делать деньги. С такой же меркой теперь стали относиться к науке и культуре. А это означает, что сегодня человечество оказалось в ситуации **тирании капитала**, безудержное самовозрастание которого, его анархичность и спонтанность явились оковами социального развития, ведут к нескончаемым локальным и глобальным кризисам, ставят человечество перед угрозами смут и катастроф.

Вирус потребительства, взращенный в Западной Европе, теперь распространился по всему миру. В этом смысле весь современный мир стал «Европой» – инструментально-рациональной системой насилия над природной и социальной средой, нацеленной на получение максимальной прибыли любыми средствами. Причем, что интересно: экспансия насилия идет в ногу с экспансией потребительской идеологии и психологии. Эти процессы, следует заметить, затрагивают «физический баланс» православной славяно-русской культуры в целом, поскольку в ее рамках культ потребительства и накопительства никогда не доминировал над духовными ценностями.

В наше время экономический рост стал своего рода фетишем. Огромное количество исследователей именно в нем усматривают неизменный и вечный двигатель «прогресса». Фетишизация экономического роста, безудержная рыночная конкуренция и различного рода геополитические игры отвлекают внимание властей и широкой общественности от решения лавинообразно нарастающих экологических проблем. Здесь особенно важно учесть, что экономический рост относится к экспоненциальным процессам, а любые экспоненциальные процессы предельны. Неограниченный рост в ограниченной среде невозможен. Его реальные физические пределы заданы конечной несущей емкостью природных экосистем нашей планеты. Однако повсеместно утвердившаяся к нашему времени система рыночной конкуренции побуждает к безудержному росту накопления, производства и потребления. Рынок становится механизмом, создающим и форсирующим спрос, в том числе и на те товары, которые не только выйдут за рамки всяких разумных человеческих потребностей, но и зачастую являются вредными для нормальной человеческой жизни. «Рыночным силам выгодна атмосфера вседозволенности, и они вольно или невольно ее поддерживают и культивируют. Производители товаров и услуг заинтересованы в том, чтобы возбуждать ощущение постоянной неудовлетворенности, даже «ненасытности» у потенциальных потребителей, которым внушают: для вас «нет пределов!» [5, с. 10–11].

При этом необходимо иметь в виду: векторы роста и векторы развития могут не совпадать. Начиная с 70-х годов прошлого столетия на фоне экономического подъема и технологического прогресса в большинстве индустриально развитых стран происходило ухудшение целого ряда важнейших показателей качества жизни и социального развития. Сюда можно отнести рост преступности,

насилия и коррупции, распространение половой распущенности – гомосексуализм и лесбиянство, атомизацию общественной жизни, снижение уровня доверия людей друг к другу, государству, депуляции коренных европейских народов, их физическую и духовную деградацию и т. д. Исследователи связывают все эти явления с формированием коммерциализированного информационного общества и характерным для него ростом крайнего индивидуализма.

Сегодня, таким образом, мы сталкиваемся с ситуацией, когда величина ВВП (или ВНП) не дает адекватного представления об уровне благосостояния людей и качестве их жизни. Так, греческий экономист Костас Золотас на основе скрупулезных расчетов еще в 1981 году показал, что каждой единице прироста материального производства соответствует снижающийся процент прироста реального общественного благосостояния [6]. И это неудивительно: качество жизни людей зависит не только от уровня доходов и потребления, но и от состояния окружающей среды – как социальной (сверхурбанизация, скученность населения, эскалация перемен, стрессы, психические и нервные перегрузки, техногенные аварии и т. п. издержки «прогресса»), так и природной (изменение климата, рост заболеваемости в связи с ухудшением экологической ситуации и т. п.). Анализируя данную ситуацию, все больше исследователей прогнозируют, что разрыв между показателями роста ВВП и реальным положением людей в предстоящие десятилетия будет и дальше увеличиваться [5, с. 5–9].

Ныне «механизм развертывания потребностей» начинает выступать как источник повышенной опасности и риска в существовании человеческой цивилизации. Паразитарное потребительство как феномен современного «потребительского общества» направляет траекторию развития цивилизации в русло, противоположное актуальным задачам свободного гармонического развития Человека в диалоге с Природой, коэволюции общества и его природной среды. Паразитарное потребительство вместе с милитаризмом, «виртуальной экономикой», финансовыми спекуляциями и массовой культурой становится сегодня причиной роста и углубления глобальных проблем и конфликтов. В этом, надо сказать, иррациональность буржуазной рассудочности, ее «репрессивность». Техногенная цивилизация если и не уничтожает совсем, то сильно ограничивает шансы альтернативы, ибо превращает человека в существо, неспособное отказаться от благ, этой цивилизацией представляемых. Сама мысль об отказе от потребительских благ, от удовлетворения большей частью искусственных, ложных потребностей, навязываемых предпринимательской экономикой, кажется современному человеку просто ужасной.

Конечно, «потребительский фетишизм», если взять его индивидуально-психологический аспект, проистекает из стремления чем-то компенсировать несостоявшуюся реализацию человеком своих данных от природы потенциальных способностей и интенций, потерянность и ненайденность в тех сферах человеческой деятельности, которые требуют от него постоянного самосовершенствования, а соответственно, и постоянного возобновления усилий, что в практике реальной жизни оказывается далеко не всем по плечу. Отсюда – жгучая психологическая неудовлетворенность, которую, как правило, легче всего заглушить внешними атрибутами успеха, в частности, престижным потреблением. Иначе говоря, потребительство основано на сильнейшем стимуле – стремлении человека к самоутверждению. «В индивидуализированном обществе (которое сегодня, заметим, интенсивно навязывается и в странах постсоветского пространства – Ч.К.) такое стремление тождественно желанию выделиться из массы, стать отличным от других людей. Но поскольку тенденция к индивидуализации потребления становится всеобщей, субъекты интегрируются в единую систему, незаметно подчиняясь ей» [7, с. 130]. На деле стремление приобрести индивидуальную неповторимость посредством потребления, оборачивается всеобщей унификацией, трансформируется в «тотальную нейтрализацию» (Г. Маркузе), а всякий декларируемый на индивидуальном уровне неконформизм (в данном случае, стремление выделиться) превращается в реальной практике функционирования общества как определенной целостности в поголовный конформизм, конформизм массового масштаба. В конечном итоге, не прекращающаяся смена потребительских товаров начинает выступать как одна из самых безнадежных и неудачных попыток заполнить пустоту и бессмысленность жизни. Другие способы борьбы с психологической неудовлетворенностью, обусловленные кардинальной потребностью человека в самореализации, – алкоголизм, наркомания, токсикомания и т. п. – стоят в этом ряду. По большому счету, все это явления одного порядка. Такова парадоксальная логика экспансии в современных экономически развитых странах психологии и идеологии потребительства.

И, тем не менее, действительный «смысловой код» потребительского фетишизма невозможно понять и объяснить вне анализа современного социально-экономического контекста, исходя только из экзистенциально-личностных особенностей и психологических трудностей, связанных с проблемой самореализации и самоосуществления человека в этом мире. Полное торжество рыночного обмена, процесс превращения «рыночной экономики» в «рыночное общество», проникновение логики рынка во все сферы человеческого бытия, придание экономизму характера тоталитарной идеологии –

вот глубинные корни и причины победного шествия «демона потребительства» по современному миру. Ныне «потребительское общество» обернулось тем, что люди в нем стали рассматриваться не столько как индивиды, стремящиеся все больше потреблять, сколько как одушевленные товары, желающие и покупать, и «быть купленными» одновременно.

Вообще, если говорить о способе самореализации человека в современном мире, то следует подчеркнуть, что сегодня с потребительством, как доминирующей системой организации жизни людей, определяющей алгоритм их поведения и ценностные установки, сопряжен целый комплекс связанных в тугой узел сложных и трудноразрешимых проблем. Здесь и стремительное разрушение биосферы, и распад института семьи, и снижение рождаемости, и рост уровня преступности, и увеличение количества людей с избыточным весом, и захватывающие все новые слои и группы населения психические расстройства (прежде всего в форме депрессии), и растущий уровень употребления алкоголя, и, наконец, быстро возрастающее количество самоубийств. В действительности, как бы это странно ни было, расцвет потребительского общества имеет своей обратной стороной духовную деградацию и физическое вырождение населения самых богатых и, казалось бы, преуспевающих стран.

В последнее время «пандемия» потребительства обернулась еще одним преломлением, могущим, в совокупности, конечно, с целым рядом других факторов привести человечество к весьма драматическим последствиям. Сказанное, в частности, имеет отношение к развернувшемуся в 2008 году на нашей планете глобальному финансово-экономическому кризису. Как обнаружилось, непосредственным поводом к последнему, как раз и выступила многолетняя привычка граждан западных стран и, прежде всего, граждан США, жить в долг, постоянно брать кредиты с целью приобретения все новых и новых товаров. В конце концов, практика опережающего потребления за счет кредитов и займов привела к потере платежеспособности и разорению в массовом масштабе. Массовый же невозврат кредитов побудил банки реализовывать залоговое имущество. В результате недвижимость упала в цене. А это обернулось цепной реакцией невозврата кредита по всей ипотечной пирамиде.

Данного рода кризисные процессы свидетельствуют о несомненном изменении потребительского поведения, причину которого следует искать в трансформации сознания, в формировании соответствующей иерархии ценностей. По большому счету данная ситуация свидетельствует о наступлении новой эпохи символического потребления, эпохи манипулирования культурными кодами (символами), инициирующими потребительские психологические установки на потребление ради потребления. Здесь мы сталкиваемся с интересной метаморфозой: функциональное потребление, обусловленное производством, нацеленным на обеспечение надлежащих функциональных свойств вещи (на удовлетворение реальных потребностей человека), заменяется символическим потреблением, в котором функциональные свойства вещи отходят на второй план, становятся лишь только средством обеспечения соответствующего имиджа товара и через него – обеспечение для потребителя возможности утверждать свой социальный статус [7 с. 130]. «В течение каких-то десятков лет всепроникающая телереклама создала целый мир разнузданного, не знающего удержу потребительства, где физические нужды граждан, ограниченные, казалось бы, самой природой, раздуты и доведены до абсурда столь же искусственно, сколь и искусно. Демон потребительства, втягивая в свой круговорот все большее число людей и ресурсов; заставляет «свободных граждан» участвовать в бешеной гонке по кругу до полного физического и морального истощения. Отсюда – невиданная по масштабам пандемия сердечных и нервных болезней, резкое пополнение рядов душевнобольных и самоубийц. Отсюда и СПИД, который, как считают специалисты, напрямую связан с истощением ресурсов организма из-за злоупотребления лекарствами и тониками. Но – отсюда и питательная среда для коррупционеров, рэкетиров и прочих носителей анархии, когда разборки бандитов и терроризм становятся социальной нормой» [8, с. 1018].

Сегодня идея материального благополучия (удовлетворения всех материальных потребностей) прочно утвердилась в массовом сознании большинства людей мира. Возникла ситуация абсолютного доминирования престижного потребления, сопровождающегося формированием целого мира искусственных, ложных и надуманных потребностей*. Поведение потребителя в данном случае имеет

* Иной читатель, конечно, всему этому может возразить, заметив, что для основной массы населения, например, постсоветского пространства разговоры об экспансии искусственных, ложных потребностей не более как надуманная проблема: дай Бог как-нибудь удовлетворить самые элементарные потребности и обеспечить свое физическое выживание. Это верно. Однако, какова интенция? Каковы ориентации? Они известны. Любой ценой стать Западом («обществом потребления»), воспроизвести его социальные структуры и образ жизни. «Вирус потребительства», завладевший сознанием и поведенческими реакциями значительной части населения постсоветских государств, в том числе и восточнославянских стран, уже давно является серьезным препятствием на пути к реализации исторического выбора и утверждения социокультурной модели развития, соответствующей экологическому императиву XXI века. Так что все эти проблемы уже актуальны и для нас.

сходство с поведением человека, страдающего разного рода маниями – к азартным играм, алкоголю или наркотикам. Удовлетворение не достигается – человек оказывается во власти «дурной бесконечности». А это означает, что индустриальная (постиндустриальная) цивилизация Запада, придав престижному потреблению, массовый характер и возведя его в ранг «основного инстинкта» человечества, вступила на опасный, даже катастрофический путь развития. Ибо процесс разрастания престижного потребления, в принципе, не имеющего верхней границы, выступает как развитие по экспоненте, уходящей в бесконечность, что на синергетическом языке может быть описано как выход современной цивилизации на «режим с обострением», то есть, по существу, на режим сверхбыстрого нарастания кризисных явлений.

Люди должны быть готовы к этому заранее – пройти посредством неизбежных катаклизмов и катастроф определенного рода перевоспитание. Однако новую этику самоограничения органично внедрить в массовое сознание – дело необычайно трудное, сравнимое, как справедливо отмечает известный итальянский публицист Джульетто Кьеза, «разве что с переменной вероисповедания, в котором личность воспитывалась с детства» [9, с. 213]. Но делать это так или иначе придется, если мы хотим сохранить род человеческий на нашей планете.

Становление капитализма на Западе и использование незападными странами догоняющей Запад модели развития привело к отделению экономики от других сфер общества и ее возвышению над ними. Представление о прогрессе утратило полноту своих характеристик и стало отождествляться с экономическим прогрессом, а также с пониманием человека как «экономического». Этот образ человека в экономике постепенно распространился на человека вообще. Внеэкономическая среда вульгарно сводилась к экономической, от чего искажалось содержание не только общества, культуры, морали, но и самой экономической сферы. Квазиэкономическая идентичность человека не соответствовала наличию у него других жизненных смыслов и задач, упрощала человека до экономического ресурса, общество — до совместных социальных действий, а культуру до одинаковой для всех народов программы человеческой деятельности, присущей Западу [10, с. 39].

Иллюзия о безграничных возможностях экономического роста, постоянно подпитываемая представлениями о всемогуществе современной техники, по-прежнему захватывает сознание и надежды широких слоев населения современного мира. Великое множество политиков и экономистов в современном мире убеждены, что рыночные механизмы и новые технологии позволяют людям решить не только экологические, но и все другие проблемы, связанные с жизнеобеспечением человека. Но новые технологии влекут и новые проблемы. Сегодня примеров тому даже не перечислить. Практика однозначно свидетельствует о том, что одни только технократические решения без соответствующих социальных изменений скорее вредны, чем полезны, явно недостаточны и не дают ожидаемых результатов. Рынок и технологии, не подчиненные целям и ценностям, отличным от тех, которые господствуют в рыночных отношениях, не в состоянии обеспечить экологическую безопасность общества. Напротив, они лишь способны ускорить наступление катастрофы. Вызываемые ими последствия обуславливаются целями, которые ставит перед собой рыночный человек (*homo mercatorius*). Значит, нужна другая ценностная система координат и, соответственно, другой тип экономического и социального развития.

Похоже, уже пришло время, когда нельзя игнорировать факт моральной усталости техноцентрической модели развития, которая, хотя и обеспечила в свое время мощный рывок Запада, сегодня ведет весь мир к тотальной экологической катастрофе. Поэтому, как бы нам ни было тяжело расставаться с привычными взглядами, мы должны согласиться с современной глобалистикой, показывающей на основе цифр и фактов, что продолжение сложившихся тенденций развития современной техногенной цивилизации уже в недалеком будущем – возможно, при жизни родившегося поколения – будет непременно пресечено. К тому же, теперь стало ясно, что проблемы, порожденные развитием техники, принципиально нельзя решить с помощью самой же техники, пусть даже еще более совершенной, что новая эффективная техника очистных сооружений, энергосберегающих технологий и других достижений научно-технического разума не помогут избежать экологического коллапса, что при любых сценариях технического развития планета не выдержит техногенной перегрузки, ибо глубинные корни экологического кризиса лежат в вытеснении техническим и искусственным естественного и натурального, в выхолащивании души и тела человека, в превращении его в некое подобие робото-компьютерного устройства. Все дело в том, что технический прогресс воспроизводит на Земле процессы, к которым эволюционно не приспособлены ни окружающая природа, ни сам человек. Ведь в естественных условиях на Земле нет источников атомной энергии, термоядерных реакций, нет природных квантовых генераторов, не происходит в короткий промежуток времени массового образования материалов с новыми химическими свойствами, макротела не передвигаются со сверхзвуко-

вой скоростью, не взлетают в космос многотонные массы и т. д. Все эти процессы являются инородными в макром мире Земли, нарушают эволюционно установившееся природное равновесие, создают эколого-кризисные состояния. Поэтому ставка на либеральную программу всемирной вестернизации на деле представляет собой губительную планетарную авантюру. Такая ставка превращает нас в людей, похожих на пассажиров «Титаника», абсолютно уверовавших в безопасность своего путешествия на этом чуде техники и поэтому суетно продолжающих выяснять отношения друг с другом, добиваться переселения из одной каюты в другую, хитрить и обманывать один другого.

Сказанное подтверждается многочисленными математическими расчетами и статистическими данными. Так, каждый человек в наиболее богатых странах потребляет в 20–30 раз больше природных ресурсов, чем жители всех остальных стран. Коэффициент же давления с их стороны на природную среду при среднеглобальном, принимаемом за 1, равен 5, в то время как весь остальной мир имеет коэффициент 0,6 [11, с. 8]. Потоки антропогенной серы, поступающие, например, на Русскую равнину из Западной Европы, в 10 раз превосходят обратные потоки воздушных загрязнений. США, население которых составляет менее 5% от мирового, потребляют около 40% мировых ресурсов. Промышленность, транспорт и инфраструктура, которая обслуживает потребности и стратегические интересы этих 5% населения, «съедает» уже более чем в течение 30-ти лет весь кислород, образуемый наземным фотосинтезом растений на территории США и т. п. А если к США добавить другие государства, где достигнуты наиболее высокие стандарты потребления, т. е. взять в целом страны так называемого «золотого миллиарда» населения нашей планеты, то суммарное потребление задействованных сырьевых ресурсов здесь уже будет составлять около 80%, а выброс в атмосферу углекислого газа будет равен 60%. В итоге получается, что использование биосферных ресурсов планеты Соединенными Штатами Америки примерно в 4, а Европой – в 2–2,5 раза превышает среднемировой уровень [12, с. 926]. Примечательно при этом, что США из 72 жизненно важных источников сырья 69 ввозит из слаборазвитых стран. Что это, как не экологический вампиризм? По свидетельству российского исследователя Сергея Кара-Мурзы, в Гарвардском университете на дверях семинара по глобальным проблемам висел плакатик: «Помните, что один гражданин США вносит в создание «парникового эффекта» такой же вклад, как 1450 граждан Индии». Неудивительно, что третий мир, в орбиту которого в последние годы стремительно вовлекаются и постсоветские страны, стал не только объектом экономической эксплуатации и вывоза капитала (в обмен на ввоз некачественных товаров и суррогатов массовой культуры), но и объектом, пока еще не переводимой на язык экономических цифр, новой формы эксплуатации – **экологической эксплуатации**. Получилось так, что сегодня наша планета оказалась разделенной на две части не только по уровню научно-технического и экономического развития, но и по экологическому признаку – на страны экологических доноров, интересы которых никак не защищены справедливыми законами и эффективным контролем, и страны-реципиенты, имеющие возможность (безвозмездно и безнаказанно) потреблять чужие экологические ресурсы в размерах далеко превосходящих воспроизводство этих ресурсов на их национальных территориях.

Сегодня, в связи с обозначенными процессами, человечество оказалось в ситуации своего рода **экологического антагонизма**. Богатые страны не желают поступиться своим «образом жизни», а бедные страны с их увеличивающимся населением не могут отказаться от развития и экономического роста. «Конкуренция за ограниченные земные ресурсы втягивает богатый Север (Запад) и бедный Юг (Восток) в конфликтные отношения (которые проявляются также в форме культурно-цивилизационных противоречий), побуждая придавать особое значение фактору силы в мировой политике и расходовать все больше средств на вооружения» [5, с. 14].

Трагизм ситуации состоит в том, что попытки всего мира приблизиться к стандартам потребления в западноевропейских странах на нынешней технологической основе могут быстро натолкнуться на абсолютные пределы ресурсов, находящихся в распоряжении человечества. Такие попытки неизбежно обернутся коллапсом, подлинной экологической катастрофой. Подсчеты специалистов ООН свидетельствуют, что если бы, например, все страны выровнялись бы по уровню потребления энергоресурсов на душу населения с США, то еще потребовалось бы 2,6 таких планет, как наша, а нефть и газ в этом случае были бы выкачаны из недр Земли за одно десятилетие [13]. А стало быть, путь, приведший промышленно-развитые страны к процветанию, не может быть всеобщим.

Людям, если они хотят выжить на этой земле («обшаренном шарике»), придется отказаться от инструментально-потребительского отношения к миру и искать новые горизонты человеческого бытия, в том числе и новую модель хозяйствования и потребления. При этом вполне можно допустить, что эта новая модель будет органически включать в себя требования сознательного регулирования и управления социально-экономическими процессами, содержать в себе в преобразованном виде значительные элементы идеи социализма, эгалитаризма, плановости, сильного, и не только правового, влияния государства.

В настоящее время, экономику, ориентируемую на получение максимальной прибыли и расширенное потребление, необходимо рассматривать как достояние вчерашнего дня и как неэффективную. В ситуации обострения экологических проблем рыночно потребительская модель развития общества, имевшая известное оправдание в условиях изобилия естественных ресурсов и возможностей экспоненциального роста, становится опасной и разрушительной. Отсюда – потребность перехода от частнорыночных механизмов регуляции экономики (конкуренция, формирование искусственных, надуманных потребностей у населения с целью получения прибыли и т. д.) к развитию системы планирования на основе эколого-экономических балансов и нормативов.

Данная потребность все в большей степени, так или иначе, осознается многими западноевропейскими исследователями и аналитиками. Питер Дракер в своей работе «Посткапиталистическое общество» (1995 г.) обосновал концепцию преодоления утвердившейся ныне стадии капитализма и формирования новой системы ценностных ориентаций современного человека. Видный американский социолог Амитаи Этциони в книге «Новое золотое правило» (1966 г.) главное внимание сосредоточил на проблеме формирования моральной парадигмы справедливого общества. В этом же русле находится и книга всемирно известного исследователя Дж. К. Гэлбрейта «Благое общество» (1996 г.), в которой он представляет «гуманистическую повестку» развития социума, усматривая при этом главную задачу в ускоренном развитии механизмов социального регулирования.

Российский исследователь Е. В. Балацкий считает, что если «конец света» и наступит, то не в результате космической катастрофы, геологических катаклизмов или термоядерной мировой войны, а из-за экономического «самопожирания» общества» [14, с. 825]. А на вопрос, существуют ли способы нейтрализации тенденции к саморазрушению общества и реальная возможность утверждения такой экономической системы, которая находилась бы в состоянии перманентного равновесия, Балацкий отвечает: «Теоретически подобный гомеостаз возможен, но чтобы его достичь, ... необходима жесткая психология экономической умеренности, разделяемая подавляющим большинством членов общества. Должна повсеместно властвовать философия «экономического буддизма»...» [14, с. 825]. Согласно ему, длительность жизни любого этноса «зависит от его «коллективного разума», проявляющегося в адаптивных возможностях, в способности к своевременной смене социально-экономической парадигмы своего развития» [14, с. 827].

Вопрос о том, что же возьмет верх на нашей Земле – «планетарный разум» или «планетарный тоталитаризм», а не исключено и вселенский апокалипсис, все еще остается открытым. Доминирующие в современном обществе рыночные силы по-прежнему диктуют свои условия, оказываются все еще способными навязывать большинству предлагаемые ими модели поведения и образа жизни. Сопротивление, которое встречают природоохранные планы, вполне достаточно, чтобы их реализацию почти полностью блокировать. Отсюда необходимость в изменении структурных рамок социально-экономического развития, отход от доминирующей ныне модели интенсивного производства, ориентированной на удовлетворение исключительно материальных потребностей. Отсюда и потребность выдвигать на передний план социальные проекты, ориентированные на цели и задачи более высокого порядка – становление культуры «постматериальных» ценностей, развитие неэкономической, немонетарной составляющей общественных интересов, формирование нового качества мотивации человеческой деятельности.

Человечество сегодня как никогда ранее нуждается в новой парадигме развития, великом альтернативном проекте концепту «одномерного мира», ориентированному на тотальное господство олигархического интернационала во всех без исключения регионах мира. Ныне, для того чтобы выжить, человечеству необходимо реабилитировать другие, незападные стратегии, связанные с преодолением техноцентрической модели развития и возрождением этикоцентричных традиций мировой культуры, среди которых свое законное место занимает и наша, восточнославянская, православная – традиция.

Кто и как в современном мире может дать «ответ» на этот жесткий «вызов», осуществить «прорыв» к тому типу социальной реальности, который чаще всего определяют как экологобезопасное общество или духовно-экологическую цивилизацию.

В своей действительности прорыв к духовно-экологической цивилизации может стать только результатом мощного творческого, инновационного скачка, кардинальной ценностно-мировоззренческой революции, духовной реформации.

Способны ли на такого рода духовный прорыв все народы одновременно и сразу? Думается, что нет.

Сегодня мы видим, что Запад утратил стратегическую инициативу. Он уходит все дальше в сторону от основополагающих основ эпохи Модерна. Так, декартовское «Я мыслю, следовательно, я существую» заменяется формулой «Я покупаю, следовательно, я существую» [15, с. 195]. Несмотря

на все свои внешние успехи, экономическое могущество, политическое и культурное влияние в мире, Запад сегодня оказался в ситуации отсутствия ясных перспектив дальнейшего цивилизационного развития. Запад на этот раз не смог выдвинуть никакой новой идеологии (если, конечно, не считать таковой концепцию «конца истории» Ф. Фукуямы), которой могли бы увлечься даже падкие на все европейское наши западники. Запад погряз в настоящем. Настоящее – сфера его торжества и успеха. Поэтому новый виток исторического движения и новые ответы на вызовы современности надо ожидать не от него, а от иных регионов и цивилизаций мира.

Запад уже давно свершил «подмену пафоса святых на банальность интереса» [16, с. 199], растворил свои духовные и культурные архетипы в культуре туловища, в этике безудержного гедонизма. Поэтому его сегодняшнее демографическое неблагополучие нельзя истолковать иначе, как результат духовного вырождения. «Это культура не жизни, а смерти, ибо она не дает объяснения, ради чего и как жить, замыкая человеческое бытие в границах профанных смыслов, – в пространстве того, что можно купить и чем можно насладиться. Запад уходит от поисков трансцендентных смыслов бытия, от стремления реализовать себя за пределами данных современному человеку возможностей. Он уходит все дальше от основ локальности своей цивилизации, не столько модернизируя, сколько преодолевая свои христианские архетипы. Во всех этих процессах такие специфические черты западной цивилизации, как индивидуализм, личная свобода и предприимчивость, социальный плюрализм и мобильность, в свое время являющиеся средством возвышения и динамичного развития, в изменившихся исторических условиях становятся источником цивилизационного упадка, потери пассионарной мощи западного духа» [16, с. 200].

«Современная мировая система приближается к своему концу и вступает в сферу трансформации по направлению к некоей новой исторической системе, контуры которой мы не знаем...» [1, с. 170] – пишет американский исследователь И. Валлерстайн. При этом автор подчеркивает, что, несмотря на глубокую укорененность того мировоззрения, которое сформировалось в эпоху Возрождения и Нового времени, наша историческая система, вероятно, уже не продержится более 50 лет.

Исходя из сказанного, нам весьма странным представляется стремление огромной массы исследователей рассматривать характерную для западноевропейской цивилизации (разумеется, включая США) парадигму развития как магистральный путь всего человечества. Впрочем, как свидетельствует опыт, европоцентризм – трудноизлечимая болезнь мирового общественно-научного знания. Корни этой болезни – в зависти к материальному благополучию Запада, в «религии прогресса», закрывающей глаза на видение иных перспектив и горизонтов бытия. И это происходит в период глобального экологического кризиса, когда уже без особой исследовательской интуиции становится очевидным, что западноевропейская цивилизация и сама вступает в кризисное состояние, и всему человечеству навязывает бесперспективный, тупиковый путь развития, и несмотря на то, что все предшествующие попытки обществоведов интерпретировать мир исключительно в европоцентристском ключе потерпели полный крах.

Движение к духовно-экологической цивилизации не будет, как это принято думать, осуществляться всеми народами одновременно и в одинаковой степени. Это движение, несмотря на всю свою видимую транснациональность, будет носить неоднородный характер, иметь свои прорывные, инновационные точки (точки «возбуждения»), свой центр и свою периферию. Оно, по крайней мере, на начальных его стадиях, будет, вероятнее всего, осуществляться теми народами, которые окажутся наиболее способными в силу внутренних потенций и особенностей пути своего социокультурного развития, дать адекватный ответ на «вызов среды». Новый уклад жизни никогда не возникает сразу и везде. Напротив, первоначально он имеет четкую географическую локализацию и длительный, порой незаметно подспудный, период своего созревания. Возможно, что этот процесс какое-то время будет вдохновляться идеалами этноцентрической или культурно-центрической окраски, обретать свои наиболее мощные импульсы в пространстве отдельных регионов и локальных цивилизаций. И только потом, на основе новых духовных прозрений и установок, начнется интеграция народов в качественно новую общность – мировую духовно-экологическую цивилизацию.

Есть все основания полагать, что формирование духовно-экологической цивилизации XXI века, новой картины мира и нового практического отношения к действительности важную роль наряду с некоторыми другими народами мира, в частности, индийским народом, культура которого содержит мощные постпотребительские и постэкономические импульсы, могут сыграть и восточнославянские народы. Восточнославянским народам, как отмечают многие исследователи, присущ целый ряд специфических черт, вытекающих из их геополитического положения, уникальности исторического пути развития, своеобразия духовно-ментальных структур и архетипов сознания, которые в условиях нарастающего экологического кризиса могут послужить исходным пунктом в формировании новой модели социокультурного развития человечества.

Однако вопрос в том, какими стратегическими ресурсами обладает Россия и близкородственные ей народы для реализации пропыва к духовно-экологической цивилизации – вопрос отдельного рассмотрения.

Список литературы

1. Андреев, И. Л. Перегнать не догоняя / И. Л. Андреев // Свободная мысль . – 2013. – № 1.
2. Сагатовский, В. Н. Что такое гуманистическое развитие общества? / В. Н. Сагатовский // Социально-гуманитарное знание. – 2002. – № 3. – С. 78–80.
3. Weizacker, E. von Lovins A., Lovins L. / Factor Four. Doubling Wealth – Having Resource Use. 1 lie New Report to the Club of Rome / E. von Weizacker A. Lovins, L. Lovins. – London, 1997.
4. Экология и социальное развитие. – Минск: ИООО «Право и экономика», 2005.
5. Вебер, А. Б. Глобальное потепление и устойчивое развитие / А.Б. Вебер // Свободная мысль. – 2006. – № 5.
6. Zolotas, K. Economic Growth and Declining Social Welfare / K. Zolotas. – Athens, 1981.
7. Кузнецова, Л. В. Дурная бесконечность символического потребления / Л. В. Кузнецова // Философия и общество. – 2008. – № 3.
8. Силин, А. А. Духовность против терроризма / А. А. Силин // Вестник РАН. – 2003. – Т. 73. – № 11.
9. Къеза, Дж. «В сумерках» договорного капитализма / Дж. Къеза // Наш современник. – 2008. – № 8.
10. Федотов, Н. Н. Внеэкономический капитал и его значение для экономики и общества / Н. Н. Федотов, Л. Н. Федотова // Философские науки. – 2009. – № 2.
11. Иванов, А. В. Время великого размежевания: от техногенно-потребительской – к духовно-экологической цивилизации / А. В. Иванов, И. В. Фотиева, М. Ю. Шишин // Вести Московского университета. – Сер. 7. – Философия. – 1999. – № 6.
12. Wackernagei, M. Tracking the ecological overshoot of the human economy – «Proceedings of the National Academy of Sciences» / M. Wackernagei. – 2002, July 9, Vol. 99. – № 14.
13. Российская газета. – 2002. 03. 09.
14. Балацкий, Е. В. Наступит ли Апокалипсис? / Е.В. Балацкий // Вестник РАН. – 1998. – № 9.
15. Делягин, М. Г. Падение в смуту: опасение о надежды / М. Г. Делягин // Наш современник. – 2013. – № 6.
16. Козин, Н. Г. Есть ли будущее у Запада / Н. Г. Козин // Свободная мысль. – 2005. – № 4. – С. 200.

Ch. S. Kirvel

ECOLOGICAL RISKS AND THE ISSUE OF MODEL CHANGING OF SOCIAL DEVELOPMENT

The article grounds the idea that ecological imperative is fundamentally incompatible with contemporary economy-centered model of development, with the process of transformation of market economy into “market society”, making economism a totalitarian ideology. The main content of the article deals with the issue of forming a new picture of the world that correspondents to economic priorities of the XXI century, as well as finding a new practical relation towards reality and studying possibilities and perspectives of transition from consumer and technological civilization to ecological and spiritual one.

Ван Шивэй, М. Г. Ясоев

*Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка,
г. Минск, Республика Беларусь*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА КИТАЯ

В работе изложены основные положения экологической политики КНР. В условиях интенсивного индустриального развития страна в последние десятилетия испытывает значительные экологические последствия техногенной деятельности. Отказ Китая от подписания многих международных экологических договоров и соглашений по ограничению опасного воздействия на природные комплексы и геосистемы всех отраслей промышленности, транспорта, сельского хозяйства ставит страну в условия международной изоляции. В статье затрагиваются также проблемы, связанные с экологической дипломатией Китая, и делается прогноз экологической политики на долгосрочную перспективу.

➤ **Ключевые слова:** экологические проблемы, защита окружающей среды, экологическая политика и дипломатия, прогноз экологической ситуации в КНР.

Введение

Экополитика – это система политических, экономических, юридических, образовательных и иных мер, принимаемых для управления экологической ситуацией и обеспечения рационального использования природных ресурсов на территории страны. Экологическая политика Китая является важной составной частью общей политики Китая. Экономические и технологические реформы, которые стимулировали сельскохозяйственное, индустриальное и энергетическое развитие в Китае в последние годы явились причиной повсеместной деградации экосистем страны. Стремление Китая к реализации своих экономических и политических целей входит в противоречие с экологическими условиями жизни населения. За последние два десятилетия экономической бум в Китае вызвал рост потребления и значительно ухудшил экологическое качество жизни. Стране требуется все больше и больше природных ресурсов, неуклонно растет энергопотребление. Тем не менее, Китай стремится и финансирует научные разработки в области новых технологий, способствующих реализации принятых экологических законов и инициатив [1, 6].

Китай отказался подписать Киотский договор, устанавливающий ограничения выбросов в атмосферу в рамках Конвенции ООН по изменению климата. КНР заявила, что этот договор затормозит развитие национальной экономики. Также китайская делегация заявила, что борьба с бедностью и экономическое развитие являются основными приоритетами внутренней китайской политики, в связи с чем правительство КНР вынуждено отложить принятие решения по ограничению выбросов парниковых газов. В связи с масштабами китайской территории и традиционной структурой экономики маловероятно, что в ближайшее время Китай сможет перейти к экономике «малоотходной чистой индустрии». В настоящее время основой хозяйства страны являются отрасли тяжелой промышленности, химической, угольной и горнодобывающей отраслей, которые потребляют огромное количество энергии и дают большое количество опасных и неперерабатываемых отходов. Маловероятно, что Китай в ближайшее время сможет внедрить достаточное количество современных технологий, которые позволят разрешить противоречия между потребностями экономического роста и охраны окружающей среды [3].

Следует отметить, что Китай – третья по территории и первая по численности населения страна мира, в связи с чем, решение экологических проблем, так или иначе, касается всех стран. В аспекте изменения климата Китай в последнее время уже столкнулся с такими явлениями, как сокращение площади ледников в высокогорьях, повышение уровня моря, и другими проблемами, связанными с глобальными изменениями климата. С одной стороны, экология Китая в современном ее состоянии негативно влияет на Россию, особенно в районах Сибири и Дальнего Востока, с другой стороны, по данным наблюдений, 25% загрязнений воздуха имеют трансграничный характер, их источником является тихоокеанское побережье США. Ни для кого не секрет, что Китай лидирует по выбросам диоксида серы в атмосферу, способствует загрязнению рек, морей, подземных вод, опустыниванию и росту болезней в мире, вызванных неблагоприятной окружающей средой.

Противоречие между необходимостью экономического роста и ухудшением состояния окружающей среды особенно ярко выразилось на последнем климатическом саммите в Париже (декабрь 2015 г.) [2].

Правоприменения в области защиты окружающей среды

Система экологического законодательства Китая, была создана относительно недавно. Принятие экологических законов часто оказывается в ведении провинциальных органов власти, суды Китая практически не имеют возможности влиять на процессы законотворчества и правоприменения. В результате китайские центральные власти вынуждены признать, что вопросы охраны окружающей среды не могут решаться только посредством контроля над загрязнениями. Стало очевидным, что экологические программы в Китае страдают от нехватки авторитета и недостаточной координации между институтами, призванными защищать окружающую среду.

Местные органы власти вынуждены жертвовать своими экологическими обязательствами, чтобы способствовать общему курсу страны на приоритетность экономического роста, хотя, по мнению западных экспертов, экологическая деградация влияет не только на здоровье населения самого Китая, но и на перспективы экономического роста страны. При этом наблюдается явная недостаточность людских и финансовых ресурсов, неадекватность штрафов и других мер наказания за экологические нарушения, что мешает успешной реализации принятых соответствующими институтами законов и программ экологического оздоровления.

Формально Национальное агентство по защите окружающей среды наделено высшей властью по отношению к институтам более низкого уровня, однако при этом финансирование последних напрямую зависит от органов местного самоуправления. В результате ориентация местных властей на экономический рост нивелирует автономию экологических институтов [5].

Ситуация осложняется тем, что многие промышленные предприятия, которые способствуют наибольшему загрязнению, управляются и принадлежат местным органам власти. Перед центральным правительством Китая стоит вопрос об изменении статуса аппарата защиты окружающей среды на разных уровнях властной иерархии или об уравнивании интересов экономического развития и защиты окружающей среды. Кроме того, необходимо изменить систему финансирования экологических институтов и способствовать их сотрудничеству между собой [7].

Неофициальная экологическая политика и общественное мнение по вопросам окружающей среды

Влияние и эффективность экологических негосударственных организаций в регионе Северо-Восточной Азии различны в зависимости от политических государственных структур, в рамках которых они существуют и осуществляют свою деятельность. В целом, как отмечают исследователи, экологические негосударственные организации сталкиваются с большими трудностями повышения своего влияния на политику в регионе, которые традиционно характеризовались сильной центральной государственной властью. Подъем природоохранного движения в регионах может быть понят в контексте международного развития. Китай имеет короткую историю борьбы за охрану природы, в особенности не зависимость от правительственных структур, а международные негосударственные экологические организации переместили свою деятельность в Китай совсем недавно. Тем не менее, за последние 20 лет в Китае возник ряд независимых экологических организаций: «Друзья природы», «Институт глобальной экологической культуры в Пекине», «Волонтеры зеленой Земли», «Пекинский фонд защиты окружающей среды». Эти организации ставят своей целью экологическое образование населения Китая, подготовку волонтеров, организацию общественных мероприятий, распространение экологической информации и др. Одновременно во многих образовательных учреждениях создаются студенческие группы защиты окружающей среды [9].

В настоящий момент к движению социальных экологических активистов добавляют свои голоса более 100 студенческих групп, некоторое количество исследовательских центров, связанных с университетами, ряд женских экологических групп. В КНР имеются более чем 30-летние традиции профессионального образования в области окружающей среды и развития, обучение по данным программам осуществляется в более чем в 300 образовательных учреждениях. С 1981 г. Институт управленческих кадров по защите окружающей среды обеспечивает повышение профессионального уровня управленческих специалистов по защите окружающей среды.

Некоторым международным негосударственным организациям, таким как WWF (Мировой фонд дикой природы), было разрешено с середины 90-х годов XX столетия открыть офисы в Китае, другие начали осуществление специальных программ, ориентированных на Китай, например программа чистой энергии для Китая Совета по защите окружающей среды. Следует подчеркнуть, что на развитие экологических негосударственных организаций в Китае значительно повлияла Конференция ООН по окружающей среде и развитию в 1992 г.

Правительство Китая, понимая, что охрана окружающей среды становится важным политическим вопросом на международном уровне и что экологические негосударственные организации возникают в качестве значимых игроков в международной экологической политике, инициировало

и поддержало создание нескольких общественных организаций на национальном уровне («Местная повестка XXI» и «Устойчивое развитие»). Тем не менее, в Китае, в отличие от ряда европейских стран, не существует развитой институциональной сети каналов для открытых общественных дискуссий по вопросам окружающей среды [7].

В настоящее время лишь несколько экологических негосударственных организаций имеют возможность оказывать общественное давление на процесс выработки и контроля над исполнением экологических ограничений. Специалисты отмечают, что очень часто позиция негосударственных организаций, например, по проблеме изменения климата удивительно схожа с позицией государственных структур. В целом население мало информировано по вопросам состояния окружающей среды, что ограничивает возможности участия населения в реализации экологической политики. В контексте современной политической ситуации ни одна негосударственная экологическая организация не может считаться абсолютно независимой и автономной. Китайские политические лидеры постоянно публично подчеркивают свою приверженность защите окружающей среды и желание финансировать дальнейшие инициативы. В то же время они стараются найти баланс между открытостью НГО и контролем над «радикальной» и «подрывной» деятельностью экологических активистов.

Для преодоления вышеупомянутых недостатков китайское правительство должно способствовать тому, чтобы организации по защите окружающей среды в Китае могли создавать каналы воздействия на общественное мнение населения путем создания целенаправленной информационной и образовательной политики. Исследователи отмечают, что подъем в Китае сектора НГО создает возможность для регионального экологического сотрудничества с представителями Кореи и Японии [6].

Проблемы китайской экологической дипломатии

С одной стороны, прошло уже более 30 лет с момента, когда был взят курс Китая на реформы и открытую политику. За это время страна добилась впечатляющих экономических успехов, на которые некоторые западные страны потратили более 100 лет. С другой стороны, экологические проблемы, с которыми Европа столкнулась за последние 100 лет, стали актуальны и для Китая. Экологическая политика Китая, так или иначе, является сферой интереса и предметом пристального наблюдения со стороны не только самого Китая, но и всего мира. Это ясно продемонстрировали политические торги в связи с Олимпийскими играми в Пекине в 2008 г. Проблема Мирового потепления климата находится в фокусе мирового сообщества, в связи с чем, по мнению китайских специалистов, муссируется так называемая теория китайской угрозы окружающей среде, сущность которой заключается в том, что Китай является и останется основным источником парникового эффекта на нашей планете. В связи с этим Китай должен взять на себя обязательство сократить выбросы в атмосферу, как и все развивающиеся страны. Такой подход является серьезной проблемой для китайской экологической дипломатии [8].

За последние 20 лет Китай активно вовлекался в международный процесс защиты окружающей среды. За это время лидеры КНР демонстрировали свою озабоченность влиянием экономики Китая на мировые экологические процессы и ролью Китая в мировом сообществе. Китай взял на себя обязательства в рамках более 30 международных конвенций и выполнил уже многие из них. Международные организации, такие как Мировой фонд дикой природы, расширяют свою деятельность в Китае в результате внимания и собственных усилий со стороны КНР. Способность Китая реализовывать экологические программы базируется не на подчинении внутренней политики международным стандартам в области сохранения окружающей среды, а больше на внутригосударственных законах и ограничениях, принятых правительством Китая. Другими словами, вовлеченность КНР в международную политику сохранения окружающей среды зависит от влияния этой политики на ситуацию внутри Китая. Если экологическая программа или инициатива является несовместимой с экономическим развитием или ставит под удар суверенитет КНР, то она не будет принята в Китае [1, 2].

Большинство аналитиков КНР утверждают, что интенсивная потребность в нефти и природном газе является движущей силой внешней политики страны. Такая политика повышает потребности в транспорте энергоресурсов на переполненных судоходных линиях и приводит к дискуссиям по определению особых экономических зон и владению энергетическими ресурсами на морском шельфе. Внешняя политика Китая ведет к экспансии в соседние страны с большим количеством нефти и природного газа, что служит поводом региональной напряженности. Все возрастающий импорт энергетических ресурсов подпитывает экономику Китая, меняя направление ее развития. Согласно призыву председателя Ху Цзинтао «Идите на Запад», акцент развития переносится с интенсивно развивающихся прибрежных регионов на беднейшие, в большей степени аграрные западные провинции. Результатом такого движения являются загрязнение водных бассейнов отходами промышленности. Экологические вызовы Китая связаны не только с энергетическими стратегиями, но и с другими про-

цессами, такими как урбанизация, сельское хозяйство, международная торговля, которые оказывают значительное экологическое воздействие на территорию страны [1, 2, 3].

Проблема энергетических стратегий обсуждается в процессе экономического диалога США и Китая, но очевидно, что использование каменного угля будет расти в Китае в среднем на 3,2% ежегодно до 2030 г. Согласно текущему 11-летнему плану, Китай берет на себя обязательства сократить энергопотребление на 20% до конца 2015 г., что представляется весьма амбициозной целью. Исследования показывают, что эффективность экологического менеджмента в Китае снижается, а эффективность мероприятий уменьшается, в то время как рыночная продуктивность растет [7, 9].

Долгосрочные перспективы экологической политики Китая

В последнее время заметно увеличился интерес к долгосрочным перспективам развития экологической политики КНР. Усилилась критика Китая как страны, потенциально угрожающей стабильности биосферы планеты, поскольку он стал главным производителем диоксида углерода и является одним из крупнейших продуцентов других парниковых газов, прежде всего метана и хлорфторуглеводородов.

Китайское руководство намерено существенно сократить выбросы в атмосферу. Ху Цзиньтао и Вэнь Цзябао неоднократно заявляли об этом. Правительство Китая заявило, что обязуется сократить выбросы парниковых газов на 45% к 2020 г. В марте 2012 г. Академия общественных наук Китая опубликовала «Доклад о стратегии продолжительного развития Китая на 2020 г.». В нем выдвинута цель сокращения до 2020 г. объема выбросов диоксида углерода в расчете на единицу ВВП на 50% [3, 5].

Однако зарубежные ученые-эксперты не разделяют оптимизма своих китайских коллег. Они пришли к выводу, что рост выбросов в Китае может замедлиться только после 2020 г., с максимумом около 2030 г. Такой вывод усугубляется тенденциями роста некоторых важнейших отраслей китайской промышленности и, прежде всего, – автомобильной. Уровень годового производства автомобилей в Китае превысил 10 млн. единиц, существенно обойдя Германию и США. При этом показатель персональной автомобилизации растет невиданными темпами [4].

Повышенный темп автомобилизации определяет и высокий уровень производства в других отраслях. Тем не менее, необходимо отдать должное большим усилиям китайского руководства по форсированному развитию и внедрению технически передовых отраслей энергетики. Первостепенное значение здесь отводится строительству атомных электростанций. Китай планирует ввести гражданских ядерных энергетических мощностей больше, чем все остальные страны мира, вместе взятые [4].

Китайское правительство принимает решительные меры по ликвидации устаревших производств. Однако китайская программа сокращения использования «неэкологичных» энергоносителей не выглядит вполне реалистичной. Спрос на жидкое топливо и потребление сырой нефти возросли менее чем за 10 лет в два с лишним раза.

Таким образом, долгосрочные перспективы реализации намечаемых экологических целей Китая выглядят весьма расплывчатыми. Впрочем, реальная картина будет зависеть от того, насколько глубоко руководство Китая сумеет согласовать быстрый экономический рост с задачами охраны окружающей среды [5].

Выводы

1. В Китае проводится активная экологическая политика, составными частями которой являются: разработка перспективных технологий защиты окружающей среды, создание природоохранных зон, активизация экологического воспитания и образования, создание экономических предпосылок для перехода предприятий на новые стандарты производства. В результате при сохранении данной тенденции Китай может выйти на одно из ведущих мест в мире по охране окружающей среды и экологическому состоянию нашей планеты. В ближайшее время важным вопросом во внутренней и внешней политике Китая останется защита окружающей среды. Экологический фактор будет одним из важнейших в развитии экономики, политики, правовой системы и дипломатии КНР.

2. Много усилий придется приложить правительству Китая для реализации и воплощения в жизнь уже принятых законодательных актов в области защиты окружающей среды. В настоящее время этот процесс осложняется отсутствием должного уровня взаимодействия между органами местной власти. В связи с этим центральное правительство может попытаться способствовать сохранению окружающей среды посредством уменьшения энергозатрат в производственной сфере и счет расширения масштабов использования чистой энергии. В настоящее время у китайского руководства нет четкого видения и плана возможностей воплощения такой политики в жизнь. Рыночно ориентированная экономика, курс на материальное процветание, недостаточный уровень сотрудничества ответственных за экологическую политику институтов власти и науки, а также между центральной властью и провинциями, недостатки правовой системы, недостаточное внимание со стороны общественности, ограниченное финансирование вкуче препятствуют эффективной реализации в Китае экологической политики.

3. В качестве усилий, необходимых для улучшения экологической обстановки в Китае и мире, стране необходимо сбалансировать свой политический курс, исходя из равнозначности приоритетов экономического развития и сохранения окружающей среды, стимулировать экологическое правоприменение внутри страны, способствовать взаимодействию ответственных за экологическую политику ведомств и институтов, расширить финансовую поддержку программ по защите окружающей среды, способствовать информационному обеспечению своей политики внутри страны, расширить диалог с международными партнерами посредством официальных и неофициальных каналов.

Список использованной литературы

1. Белая книга «Охрана окружающей среды в Китае». Пресс-канцелярия Госсовета КНР – Пекин, 2012. – 267с. (кит. яз.)
2. Белая книга «Охрана окружающей среды в Китае. 2006–2015». Пресс-канцелярия Госсовета КНР – Пекин, 2015. – 674с. (кит. яз.)
3. Ван Жуфэй. Экологические проблемы в мире и экологическая дипломатия Китая в XXI веке // Магистерская диссертация. Дипломатический институт Китая, Пекин, 2013. – 56 с. (кит. яз.)
4. Ван Яньюань. Исследование современной экологической политики Китая // Магистерская диссертация. Хэбэйский педагогический университет, Шицзячжуан, 2013. – 41 с. (кит. яз.)
5. Дин Цзиньгуан. Экологическая дипломатия Китая: достижение и проблемы // Социальная наука Ганьсу. Циндаоский университет. 2012. – № 7 – С. 168–170 (кит. англ. яз.)
6. Закон о предотвращении эрозии почвы Китайской Народной Республики 7-й созыв Всекитайского собрания народных представителей постоянного комитета (ПК ВСНП) (20-я сессия) – Пекин, 2004 г. – 48 с. (кит. яз.)
7. Конференция ООН по торговле и развитию. Энергоуслуги и экологические услуги: цели переговоров и приоритетов в области развития / Под ред. С. Царриллели. ООН. Нью-Йорк; Женева, 2008. – 512 с. (англ. яз.)
8. Ван Шивэй. Экологические проблемы горнодобывающей промышленности / Геология и полезные ископаемые четвертичных отложений: материалы VIII Университетских геол. чтений, 3–4 апр. 2014 г., Минск, Беларусь / редкол. А.Ф. Санько (отв. ред.) [и др.]. – в 2-х ч. – Минск: «Цифровая печать» 2014. – Ч. 2. 86 с.
9. Ван Гуаньцзюнь. Основные проблемы экологической политики Китая в контексте глобальных проблем окружающей среды // Диссертации по гуманитарным наукам // Санкт-петербургский государственный университет – 2012. – С. 56–124.

Wan Shiwei, M. G. Yasoveev

ENVIRONMENTAL POLICY OF CHINA

The article describes the main provisions of PRC's environmental policy. In conditions of intensive industrial development during the last decades the country has experienced a significant environmental impact of anthropogenic activities. China's refusal to sign a range of international environmental treaties and agreements to limit harmful effects on natural ecosystems and geosystems of all industrial sectors, transport and agriculture has put the country in conditions of international isolation. The paper also addresses issues related to environmental diplomacy of China and provides a long-term forecast of its environmental policy.

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

СИСТЕМА ШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ФЕДЕРАТИВНОЙ РЕСПУБЛИКЕ ГЕРМАНИЯ

В статье выявлены и обоснованы три этапа становления системы школьного образования для устойчивого развития в ФРГ в период с 1960 г. по сегодняшний день (первый этап (1960 г. – середина 1980-х гг.), второй этап (до 2000 г.), третий этап (до 2015 г.), а также представлены закономерности совершенствования этой системы. Определены условия и факторы, повлиявшие на становление системы школьного образования для устойчивого развития в Германии.

➤ **Ключевые слова:** образовательная политика ФРГ, образование для устойчивого развития, экологическое образование, этапы становления, международная нормативная база.

Введение

В современной образовательной политике ФРГ происходят существенные изменения, вызванные интеграцией немецкого образования в европейскую модель, освобождением от определенной национальной изолированности путем налаживания сотрудничества с зарубежными специалистами и участия в международных исследованиях.

Германия является одной из ведущих стран мира по разработке стратегии и тактики развития образования для устойчивого развития, по внедрению в педагогическую практику новейших образовательных технологий и методик.

Анализ немецкого опыта становления и развития системы школьного образования для устойчивого развития дает возможность избежать ошибок в образовательной политике других стран, а также адаптировать этот опыт, с учетом своих национальных особенностей и включить ведущие идеи в государственные программы.

Основная часть

Образование для устойчивого развития (ОУР) – это целенаправленный процесс, в котором индивид осваивает стратегию управляемого, поддерживаемого, регулируемого конструктивного изменения состояния окружающей среды, экономики, общества и культуры [1]. 17–18 марта 2005 г. в Вильнюсе была принята «Стратегия ЕЭК ООН для образования в интересах устойчивого развития», согласно которой образование должно способствовать формированию глубоких и прочных экологических, экономических и социальных знаний, развитию человека с биосферным мировоззрением, ориентированным на гуманистические ценности, действующим в рамках экологической этики, умеющим принимать решения и отвечать за них [2].

Процесс становления образования в школах Германии является важным аспектом в исследованиях многих ученых, таких как К. Шдлайхер, В. Штернштайн, А. Штиппровейт, Д. Большо и др. Основу данной классификации этапов становления системы школьного ОУР в ФРГ составила модель Р. Лоба [3]. Профессор Института экологического образования при университете г. Эссена на протяжении многих лет занимался проблемой экологического образования школьников. Расширив его модель данными последних исследований в области школьного образования (в период с конца 1990 гг. по сегодняшний день), можно выделить три основных этапа.

Первый этап (1960 г. – середина 1980-х гг.) характеризуется зарождением экологического образования в школьной практике. В начале 70-х годов всеобщее внимание было сфокусировано на проблемах сохранения дикого животного мира, охраны почв, загрязнения воды, деградации земель и опустынивания, а человек рассматривался в качестве коренной причины этих проблем [4]. Под эгидой ЮНЕСКО в 1968–1972 гг. были организованы международные конференции по проблемам окружающей среды – Стокгольмская конференция ООН по окружающей среде (1972 г.), Международный форум в Белграде (1975 г.), Тбилисская декларация по экологическому образованию (1977 г.), Программа правительства ФРГ (1971 г.), Конференция по экологическому образованию (Мюнхен, 1978 г.), за которыми последовали международное признание природоохранной проблематики и включение ее в повестку дня международного сотрудничества.

Становление и развитие системы экологического образования в Германии было основой международного сотрудничества в решении глобальных и локальных экологических проблем общества. Однако развитию экологической политики ФРГ способствовали не только международные инициативы в области образования по окружающей среде, но и стремления немецких граждан сохранить и защитить природную среду. Согласно рекомендациям ЮНЕСКО, преподаватели высших учебных заведений Германии разработали основные положения концепции школьного и дополнительного экологического образования для всех уровней образовательной системы страны. Но из-за отсутствия поддержки со стороны правительства и правительственных органов они не были реализованы, так как в этих положениях прослеживалась необходимость сокращения значительного количества рабочих мест разрушающих окружающую среду [3]. В дальнейшем Федеральное правительство, изучив международный опыт в вопросе природоохранной деятельности, адаптировало его с учетом региональных особенностей и включило ведущие идеи в государственные программы и постановления. В 1971 г. создан базовый документ «Программа федерального правительства по окружающей среде» (Umweltprogramm der Bundesregierung) [5], в котором среди целей образования особое внимание уделялось обеспечению школьника на всех уровнях необходимыми знаниями в сфере экологии. Однако скорее для защиты от экологической опасности, нежели для улучшения состояния окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Дальнейшая актуализация экологического образования в школе осуществлялась согласно следующему немецкому документу «Общегерманская стратегия экологического образования» [6], в основу которой легли рекомендации, представленные на Тбилисской конференции (1977 г.), а затем на Конференции по экологическому образованию в Мюнхене (1978 г.). В ней говорилось о необходимости проведения школьных исследований на конкретных примерах в малых группах во время занятий в классах, о важности использования проектно-ориентированных форм изучения и тесного сотрудничества с учебно-образовательными учреждениями (центрами экологии и краеведения, заповедниками, зоопарками, музеями) в рамках дополнительного образования. Все мероприятия были нацелены на развитие у школьника осознания прямой зависимости здоровья человека от экологического состояния окружающей среды.

В этот период педагогическая общественность активно работала над конкретизацией целей, принципов экологического образования проводя диагностические исследования. Школа занималась разработкой программ по экологическому образованию и различных учебных материалов (учебников, пособий), созданием дидактических средств обучения, поиском эффективных методов учебно-воспитательной работы в школе, организацией эколого-педагогической подготовки учителей. Экологическое образование стало развиваться в рамках естественнонаучного и политического школьного образования [7]. Осуществлялось природоохранное просвещение на всех уровнях образовательной системы.

В Западной Германии существовали экспериментальные школы, ориентированные на экологизацию школьного содержания с внедрением в процесс обучения практических форм и методов работы. Так в школе им. Теодор-Хойс (Theodor-Heuss-Schule) федеральной земли Гессен ввели в ряд предметов по выбору для 7–10 классов предмет «Экология. Охрана окружающей среды». Однако в ходе обучения возникли проблемы: отсутствие специальной методики преподавания, несогласованность содержания, тематических аспектов, несоблюдение принципа единства, комплексности, межпредметности. Результаты эксперимента были низкими, так как содержание предмета «Экология» в средней школе должно было интегрировать в себе аспекты различных предметов и преподаваться компетентными педагогами-предметниками, а обучение строиться на междисциплинарном подходе [7].

Большинство немецких школ не смогло воплотить прогрессивные эколого-педагогические идеи и полноценно реализовать цели, принципы экологического образования согласно современным эколого-педагогическим исследованиям. Процесс экологизации школьной жизни данного периода оценивается достаточно отрицательно. Во-первых, экологизация содержания школьных предметов заключалась во введении отдельных природоохранных тем отражающих отрицательную деятельность человека (озоновые дыры, парниковый эффект, всемирное потепление, загрязнение воды и т. д.), темы не всегда сочетались с контекстом предмета изучения и на их изучение отводился лишь один урок. Распределение экологического содержания проходило неравномерно по всем предметам, а в основном в пределах ведущих предметов, таких как естествознание и краеведение (в начальной школе), биология и география, обществоведение (в средней школе). Обучение школьников носило традиционный характер и было ориентировано только на заучивание достоверной информации, а не на развитие навыков решения экологических проблем. Во-вторых, отсутствовал эколого-педагогический опыт. Педагоги не были компетентны в решении вопросов, затрагивающих природоохранные темы [8].

Этот этап характеризуется, с одной стороны, выдвиганием прогрессивных идей и инициатив в области экологического образования как на международном, так и на национальном уровнях, раз-

работкой теоретических основ преподавания экологии, а с другой стороны – преобладанием консервативных и традиционных подходов при обучении экологии в общеобразовательной школе.

На образовательную политику *второго этапа* (до 2000 г.) повлияли многочисленные экологические программы действий, принятые на международных конференциях: доклад «Наше общее будущее» (1987), Международная стратегия действий в области образования и подготовки кадров по вопросам окружающей среды (1990), «Повестка дня на XXI век» (2-ая Конференция по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), Салоникская декларация по экологическому образованию и просвещению для устойчивого развития (УР) (Греция, 1997 г.). В документах подчеркивалась важность переориентации системы школьного образования каждой страны на решение вопросов устойчивого развития (УР): гармонизация жизни человека с природой, сохранение целостности экосистемы Земли, всестороннее участие граждан в рациональном использовании природных ресурсов и улучшении состояния окружающей среды. По замыслу разработчиков, перед школой стояла задача в создании условий для школьника с тем, чтобы он смог научиться познавать окружающий мир, действовать и жить гармонично с другими не нанося ущерб окружающей среде [9]. В этот период школы стали более независимыми в вопросах тематического и временного планирования, что позволило им вводить в учебно-воспитательный процесс проектно-ориентированные формы и методы работы (опросы, учебные экскурсии на предприятиях, полевые практикумы, презентации). Практический подход к изучению природы на локальном уровне позволил интегрировать школьное и внешкольное образования. Благодаря проблемно-деятельностному подходу к обучению экологии школу стали рассматривать как региональный центр социальной активности населения [10].

В педагогических кругах развернулась широкая дискуссия о целеполагании, содержании, формах и методах экологического образования. Данный процесс обусловил бурное развитие теории и практики экологического образования в Германии, способствовал разработке интегрированных учебных программ, апробации всевозможных форм и методов обучения, а главное, открытию в регионах внешкольных учебно-образовательных учреждений и центров по экологическому образованию. Параллельно проводились эмпирические методико-дидактические исследования эффективности процесса экологического образования, выдвигались практико-ориентированные эколого-педагогические концепции.

По мнению профессора Р. Е. Лоба [11] период с 1983 г. можно считать началом интеграции экологического содержания во все школьные предметы. Особые приоритеты получили темы, рассматривающие этические аспекты экологического образования, вопросы производства и потребления экологически чистого товара, темы, затрагивающие поведение человека с позиций прошлого и будущего. Содержание строилось с учетом интересов и потребностей конкретных обучаемых групп, на основе приоритетности принципа личного действия. Уроки были ориентированы на решение локальных и региональных экологических проблем, имели эколого-краеведческую направленность. Особую популярность в практике экологического образования завоевали проектные дни и недели по вопросам окружающей среды. Стала расширяться сеть учреждений дополнительного образования по вопросам окружающей среды (центры экологии и краеведения, биологические станции).

Итак, в середине 80-х гг. происходило расширение экологического образования школьников за счет экологизации содержания всех предметов на всех уровнях образования, развития дополнительного экологического образования, введения в массовую школьную практику проектно-ориентированных форм работы.

Программный план действий по достижению УР в XXI веке – «Повестка дня на XXI век», принятый на конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) оказал в последующем большое влияние на школьную политику. Включение концепции охраны окружающей среды и развития во все учебные программы с анализом причин возникновения серьезных проблем в области окружающей среды на глобальном, региональном, локальном уровнях, а также обеспечение междисциплинарного подхода были признаны основными направлениями экологического образования школы [12]. В этот период актуализируется экономическая составляющая, вследствие чего в учебные программы вводятся нестандартные темы: «Экология и экономика», «Экологическое земледелие», «Здоровое питание», «Промышленность по переработке отходов» и др. [13].

Приоритетные направления в школьном образовании *третьего этапа* (до 2015 г.) определили фундаментальные документы: Всемирная декларация «Образование для всех» (Дакар, Сенегал, 2000 г.), Гамбургская декларация (2003 г.), Йоханнесбургская декларация по УР (ЮАР, 2002 г.) Стратегия ЕЭК ООН для ОУР (Вильнюс, 2005 г.), Боннская декларация (2009 г.), 4-я Всемирная конференция ООН по УР (РИО+20) (Рио-де-Жанейро, 2012 г.). На этом этапе внимание мирового сообщества сфокусировано на решении не только экологических, но экономических, социальных и культурных проблем общества и их взаимосвязи. Методисты, педагоги, школьное сообщество тесно сотру-

ничают над определением целей, задач, принципов образования для устойчивого развития. Осуществляются попытки включения в содержание всех школьных предметов тем социально-экологического характера (экологические последствия роста численности жителей планеты, потребление уменьшающихся запасов природных ресурсов, нищета, голод, экологические регуляторы неуправляемого роста отходов, загрязняющих окружающую среду, основные условия обеспечения устойчивого существования человека на Земле, нарушение равноправия полов, безграмотность и др.), содействующие пониманию сути ОУР [14].

Объявление ООН 2005–2014 гг. «Всемирной декадой по ОУР» и вследствие этого принятая «Стратегия ЕЭК ООН для ОУР» (Вильнюс, 2005 г.) [2] способствовали существенным изменениям в образовательной политике ФРГ. Перед школой возникла важная задача. Во-первых, внедрить в содержание учебных предметов самой точной имеющейся информации, включая естественные, психологические, социальные науки; во-вторых, оказать содействие профессиональной подготовке всех преподавателей, администрации школы в области УР; в-третьих, развить у школьника способности решать задачи не только сегодняшнего дня, но и будущего. Реализуя поставленную задачу, на базе школ создавались программы обменов между учащимися, педагогами, администрацией с целью преодоления трудностей. В этот период содержание образования меняется, речь идет о целостной трансформации в модели поведения и бережном, гуманном взаимодействии школьника с природой, с другим человеком, сообществом людей. Образовательная концепция в это время строится на принципах ОУР: фундаментальности, всесторонности, междисциплинарности, непрерывности, гуманистичности [15].

В 2010 г. Федеральное министерство экономики и технологий инициировало Национальный проект «Основы бизнеса в школе» [16], целью которого стала поддержка экономического и экологического образования немецких школьников. С одной стороны, проект был ориентирован на формирование высокой компетенции, цель которой – сделать школьников готовыми оценивать новые ситуации, критически к ним относиться и справляться с ними, самостоятельно выбирая необходимую информацию и адекватные способы решения возникшей проблемы. С другой стороны, проект способствовал вовлечению самих школьников в практику, а также дал возможность школам реализовать идеи УР независимо и самостоятельно.

Сегодня концепция образования для устойчивого развития в Германии строится на личностно-ориентированной модели, на психологии оптимизма и успеха. Деловые игры, коммуникативное взаимодействие, творческие семинары, учебные диалоги, практико-ориентированные знания, опережающее и сопоставляющее обучение нацелены на развитие исследовательской деятельности школьника в решении социально-экономических и экологических, культурных задач.

На территории ФРГ функционирует 200 проектных школ, являющиеся частью международной сети школ ЮНЕСКО. Девиз проектных школ ЮНЕСКО «Совместно учиться в плюралистическом мире в культурном разнообразии» раскрывает, буквально, задачу современной школы. В учебные планы включены темы по правам человека, межкультурному обучению, устойчивому развитию и справедливому социальному равноправию. Школьные проекты «Устойчивый шопинг» (покупка товаров с многократным применением, произведенных с учетом энергосберегающих требований и из экологически чистого сырья), «Устойчивое производство» (наименьшая затрата энергии, природных ресурсов и защита окружающей среды) способствуют развитию критического мышления школьников и раскрывает важность сокращения негативного влияния человека на окружающую среду [17]. В учебном процессе прослеживается отчетливая ориентация на подготовку школьников к решению в будущем конкретных локальных и глобальных задач.

Выводы

Анализ этапов становления системы школьного образования для устойчивого развития в ФРГ показывает, что в период с середины XX века и до настоящего времени в ФРГ накоплен богатейший опыт организации образования для устойчивого развития на всех уровнях системы образования, включая общее среднее.

Оптимизация образования для устойчивого развития на уровне общего среднего в ФРГ обусловлена всемирными и общеевропейскими тенденциями в решении устойчивого развития природы, общества, человека. Подтверждением этого является 21-я конференция ООН по климатическим изменениям (2015 г., Париж) нацеленная на нахождение баланса между потребностями и возможностями каждой страны. Нахождение такого баланса невозможно без развернутого применения ОУР.

Опыт ФРГ в организации, становлении и развитии образования для устойчивого развития в рамках общего среднего образования возможен для применения на других образовательных площадках, включая и Республику Беларусь.

Список литературы

1. Талецкая, Н. Н. К проблеме образования для устойчивого развития / Н. Н. Талецкая // Экологический вестник. – Минск, 2014. – № 3 (29) – С. 114–122
2. Стратегия ЕЭК ООН для образования в интересах устойчивого развития. Вильнюс, 2005
3. Lob, R. E. 20 Jahre Umwelterziehung in Deutschland – eine Bilanz / R. E. Lob. – Köln: Aulis Verlag Deubner und Co KG, 1997. – 227 S.
4. Мамедов, Н. М. Экология: что должен знать и уметь школьник / Н. М. Мамедов. – Минск: Школа-Пресс, 1997. – 61 с.
5. Программа федерального правительства по окружающей среде. [Электронный ресурс] Режим доступа: dip21.bundestag.de/dip21/dtd
6. Общегерманская стратегия экологического образования. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles>
7. Führ, Ch. Deutsches Bildungswesen seit 1945. / Ch. Führ. – Bonn, 1996
8. Winkel, R. Theorie und Praxis der Schule. / R. Winkel. – Schneider Verlag Hohengehren, 1997.
9. Талецкая, Н. Н. Нормативная база системы школьного образования для устойчивого развития в ФРГ / Н. Н. Талецкая // Экологический вестник. – Минск, 2015. – № 1 (31) – С. 107–112
10. Eulendorf, G. Umweltunterricht in der Bundes Republik Deutschland. / G. Eulendorf. – Köln, 1980.
11. Lob, R. E. Umwelthemen in Schulbüchern nichtnaturwissenschaftlicher Fächer der Sekundarsufe I des allgemeinbildenden Schulwesens in Deutschland / R. E. Lob. – Köln, 1996.
12. Повестка Дня на XXI век Agenda 21 Рио-де-Жанейро [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.r-komitet.ru/s_i_d/agenda21/index.htm
13. Кармаева, Т. В. Экологические и социально ответственные школьные фирмы в Германии / Т. В. Кармаева // Фундаментальные исследования. – Москва, 2013. – № 6 (5). – С. 124–128
14. Писарева, Л. И. ФРГ: школьное образование в контексте развития экологической культуры / Л.И. Писарева // Школьные технологии. – Москва, 2015. – № 2. – С. 55–61
15. Мамедов, Н. М. Образование для устойчивого развития – экватор пройден / Н. М. Мамедов // Экологическое образование: до школы, в школе, вне школы. – Москва, 2009. – № 4. – С. 13–16
16. National Sustainable Development Strategy. Germany, Berlin, 2012. – 245 p
17. Nationaler Aktionsplan für ein kindergerechtes Deutschland 2005–2010 / Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend. – Berlin, 2006, – С. 9–13

N. N. Taletskaya

SYSTEM OF SCHOOL EDUCATION FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN GERMANY

In the article are identified and substantiated three stages of the formation of the system of school education for sustainable development in Germany, in the period from 1960 to the present day: (the first stage (1960 – mid-1980.), the second stage (to 2000 year), the third (to 2015 year) and are presented the improving ways of the school education. There are defined the conditions and factors, which influenced the formation of the system of school education for sustainable development in Germany.

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

УДК 574:595.762.12:504.5

А. Н. Крицкая¹, Н. Г. Галиновский²

¹Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Республика Беларусь

²Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

НАСЕЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ, ОБИТАЮЩИХ НА ОТВАЛАХ ФОСФОГИПСА ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Исследования проводились в 2011–2012 гг. у подножья нескольких отвалов фосфогипса с различной степенью зарастания. В результате было выявлено 96 видов жесткокрылых из 22 семейств, наблюдалось увеличение видового богатства и численности по мере сукцессионных изменений и увеличения площади проективного покрытия растительности. По мере сокращения свободных площадей с фосфогипсом наблюдалась перестройка в экологической структуре сообществ, связанная с уменьшением доли ксерофилов в пользу мезоксерофильных и мезофильных видов, а также ростом лесных видов зоофагов и детритофагов на фоне уменьшения присутствия полевых фитофагов.

➤ **Ключевые слова:** жесткокрылые, гигропреферendum, биопреферendum, отвалы фосфогипса, пищевая специализация.

Введение

ОАО «Гомельский химический завод» является одним из крупнейших в Беларуси промышленным предприятием по производству комплексных удобрений. Ключевым направлением производства является выпуск фосфорных удобрений в результате переработки апатитов. В качестве отходов производства выступает шлам и фосфогипс, складываемые в отвалы. На текущий момент на территории завода сформировано 8 отвалов различных размеров и с различной степенью зарастания.

Несмотря на свой значительный возраст (первые отвалы начали формироваться в середине 60-х годов XX века), энтомофауна территории отвалов довольно слабо изучена. В то же время герпетобионтные жесткокрылые являются одним из важнейших компонентов экосистемы, играют большую роль как в регуляции численности видов растительоядных беспозвоночных, так и являются биоиндикаторами окружающей среды [1].

Материал и методика исследования

Сбор материала проводился с мая по сентябрь 2011–2012 гг. на трех отвалах фосфогипса с различной степенью зарастания травянистым покровом и древесными породами:

– «Отвал № 1» – участок, примыкающий к подножью отвала фосфогипса, на который производился сброс отходов с подвесной линии. Зарастание отвала очень слабое и только у подошвы. Пионерная группировка представлена всего двумя видами – вейником наземным и иван-чаем узколистным. Общее проективное покрытие составляет немногим более 5% (травянистый ярус начинает формироваться лишь в понижениях микрорельефа). Почва как таковая отсутствует – стационар подстилает сплошной горизонт фосфогипса. В непосредственной близости от участка сборов находится обводной канал.

– «Отвал № 2» – участок, располагающийся так же у подножья отвала, на который не сбрасывается фосфогипс. Второй стационар находится в двухстах метрах от первого. Верхний слой почвы представлен фосфогипсом, который покрыт травянистым покровом, проективное покрытие которого увеличивается в 2 раза, на небольших участках появляется маломощная подстилка. Среди растительности доминировали вейник наземный и иван-чай, кроме них были отмечены также костер наземный, скерда и щавель курчавый. Недалеко находится обводной канал.

– «Отвал № 3» – участок у подножья отвалов возрастом более 40 лет. Верхний слой почвы на глубину 5 см представлен шламом и фосфогипсом (открытые участки занимают не более 20%). Данный участок покрыт моховым и лишайниковым покровом, встречается травянистая растительность

(вейник наземный, иван-чай, скерда, пижма, тысячелистник). Проективное покрытие возрастает до 70%. Формируется древесно-кустарниковый ярус (береза). Сброс отходов не производится на данный участок уже много лет.

Жесткокрылые собирались при помощи ловушек, которые представляли собой пластиковые ёмкости объёмом 0,25 л с диаметром входного отверстия 72 мм. В качестве фиксированной жидкости использовался 9% раствор уксусной кислоты. На каждом стационаре за один учёт было выставлено по 10 ловушек. Ловушки менялись 1 раз в 10 дней. Всего за период исследований было коллектировано 2032 экземпляра жуков.

Экологические характеристики жесткокрылых определялись как по данным литературы [2, 3], так и по собственным наблюдениям. Степень доминирования определялась по шкале Ренконена [4], согласно которой доминанты – это виды с относительным обилием особей свыше 5%, субдоминанты – от 2 до 5%, рецеденты – от 1 до 2% и субрецеденты – виды с относительным обилием особей ниже 1%. Параметры α разнообразия рассчитывались с помощью пакета прикладных программ BioDiversity Pro ver. 2.0.

Результаты исследований и их обсуждение

По итогам проведённых сборов было обнаружено 96 видов жесткокрылых, относящихся к 22 семействам (табл. 1), из которых представители 4 семейств (прицепыши, плавунцы, сальвиниды и троксы) не являются герпетобионтными и попались в ловушки случайно, о чём говорит их незначительное присутствие в ловушках. Наиболее высоким видовым богатством на отвалах фосфогипса за весь период исследований отмечались жужелицы (37 видов) и стафилиниды (9 видов). Кроме этого, достаточно высокое видовое богатство было зафиксировано у листоедов (7 видов), а также у щелкунов, пилюльщиков и блестянок (по 6 видов). Видовое богатство остальных семейств было не высоким и не превышало 3 видов (табл. 1). Следует также отметить, что по мере зарастания отвалов наблюдался значительный рост количества семейств жесткокрылых – от 3 на голом отвале до 17 на старом, с начинающим формироваться почвенным покровом.

В целом, при оценке видового богатства и численности жесткокрылых на отвалах с различной степенью зарастания можно сказать, что по мере увеличения площади проективного покрытия растительности и уменьшения площади открытых участков с фосфогипсом наблюдается значительный рост как числа видов (с 8 на голых отвалах до 66 на старых, наиболее заросших), так и численности жуков (с 26 до 1738 особей). При этом относительное обилие жужелиц падает практически в два раза в пользу пилюльщиков и стафилинид (табл. 1).

Среди всех обнаруженных в процессе исследования видов 3 вида были встречены на всех трех отвалах. Это пилюльщик *Chaetophora spinosa* и жужелицы *Amara aenea* и *Calathus erratus*. При этом *Ch. spinosa* доминировала на всех трех изученных стационарах, постепенно наращивая свою численность по мере увеличения площади покрытия растительностью, что можно объяснить тем, что данный пилюльщик тяготеет к берегам водоёмов, покрытым прибрежной растительностью. В то же время относительное обилие *A. aenea* наоборот, плавно снижалось, имея максимум на непокрытом растительностью участке, так как этот вид предпочитает открытые, обильно прогреваемые солнцем пространства на песчаной почве.

На голом, практически лишённом растительности отвале доминировали виды либо тяготеющие к открытым территориям на песчаных почвах (жужелицы *Brosicus cephalotes* и *Cicindela hybrida*), либо предпочитающие берега водоёмов, как упомянутый выше пилюльщик *Ch. spinosa*. Для данной территории была характерна наиболее высокая концентрация доминирования (индекс Симпсона составил 0,23), что при наиболее низком информационном разнообразии среди всех исследованных стационаров и на фоне наивысшей выравненности (табл. 1) может говорить о распределении видов здесь в соответствии с моделью разломного стержня Маккартура (рис. 1). То есть, можно предположить, что сообщество жесткокрылых исследованного отвала находится на стадии формирования, а обнаруженные виды являются пионерными.

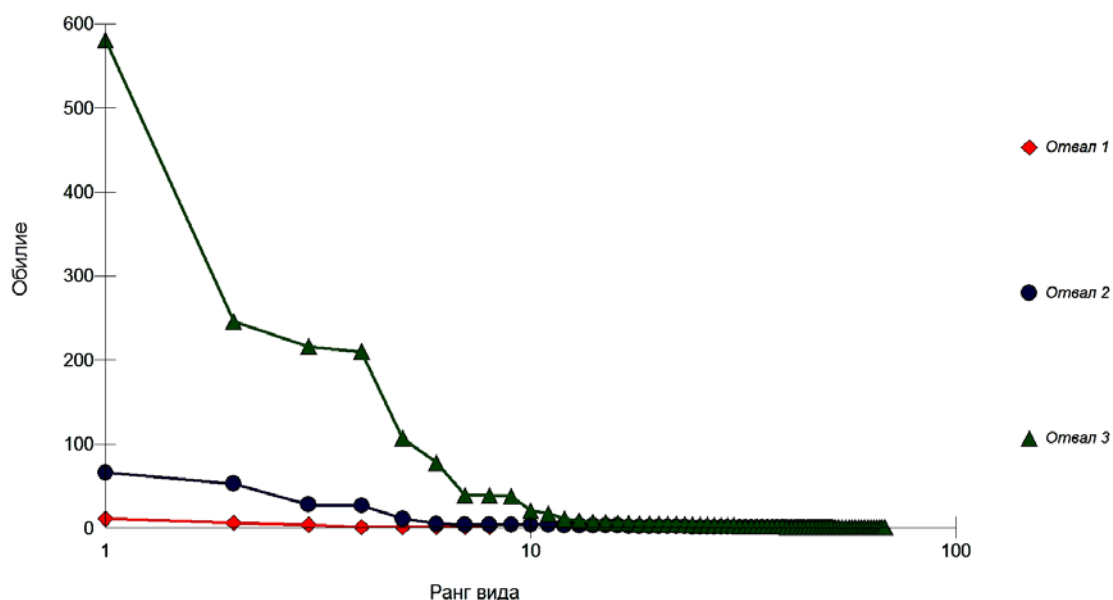


Рисунок 1 – Ранжирование жесткокрылых на исследованных стационарах

По мере увеличения площади растительного покрова структура доминирования изменяется – в ловушках больше не встречался *B. cephalotes*, который на голом отвале составлял практически половину от всех собранных особей жуков, а также скакун *C. hybrida*.

Таблица 1
Видовой состав и относительное обилие особей жесткокрылых (%) в герпетобии отвалов фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод»

Семейство и вид	Отвал 1	Отвал 2	Отвал 3
Anthicidae Lacordaire, 1825	0	0,37	0,12
<i>Notoxus monoceros</i> (Linnaeus, 1761)	0	0,37	0,12
Apionidae Schoenherr, 1823	0	0,74	0
<i>Apion apricans</i> Herbst, 1797	0	0,37	0
<i>Apion fulvipes</i> (Geoffroy, 1785)	0	0,37	0
Byrrhidae Latreille, 1806	23,08	13,85	46,9
<i>Byrrhus fasciatus</i> (Forster, 1771)	0	1,5	0
<i>Byrrhus pilula</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,37	0,4
<i>Chaetophora spinosa</i> (Rossi, 1794)	23,08	10,49	33,43
<i>Cytilus sericeus</i> (Forster, 1771)	0	0,37	0,52
<i>Lamprobyrrhulus nitidus</i> (Schaller, 1783)	0	0	0,12
<i>Morychus aeneus</i> (Fabricius, 1775)	0	1,12	12,43
Byturidae Thomson, 1859	0	0,37	0
<i>Byturus tomentosus</i> (De Geer, 1774)	0	0,37	0
Cantharidae Imhoff, 1856(1815)	0	0,37	0
<i>Cantharis rustica</i> Fallen, 1807	0	0,37	0
Carabidae Latreille, 1802	73,07	37,09	32,11
<i>Acupalpus flavicollis</i> (Sturm, 1825)	0	0	0,4
<i>Agonum fuliginosum</i> (Panzer, 1809)	0	0	0,06
<i>Agonum sexpunctatum</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,06
<i>Amara communis</i> (Panzer, 1797)	0	1,5	0,06
<i>Amara aenea</i> (DeGeer, 1774)	3,85	0,37	0,17
<i>Badister bullatus</i> (Schränk, 1798)	0	0	0,06
<i>Bembidion articulatum</i> (Panzer, 1797)	0	0	0,12
<i>Bembidion azurescens</i> (Dalla Torre, 1877)	0	0	0,06
<i>Bembidion femoratum</i> Sturm, 1825	3,85	0	0
<i>Bembidion lampros</i> (Herbst, 1784)	0	0,37	0,23
<i>Bembidion properans</i> (Stephens, 1827)	0	0,37	0
<i>Bembidion quadrimaculatum</i> (Linnaeus 1761)	0	1,12	1,21

Семейство и вид	Отвал 1	Отвал 2	Отвал 3
<i>Bembidion varium</i> (Olivier, 1795)	0	0	0,06
<i>Broscus cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)	42,31	0	0
<i>Calathus erratus</i> (C.R. Sahlberg, 1827)	3,85	24,76	12,05
<i>Calathus fuscipes</i> (Goeze, 1777)	0	0	0,06
<i>Calathus melanocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,75	0,06
<i>Calathus micropterus</i> (Duftschmid, 1812)	0	0	0,06
<i>Carabus arcensis</i> Herbst, 1784	0	0	0,06
<i>Carabus granulatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,37	0,35
<i>Cicindela hybrida</i> Linnaeus, 1758	15,36	0	0
<i>Cylindera germanica</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,37	0
<i>Dyschirius arenosus</i> Stephens, 1827	0	0	0,06
<i>Harpalus latus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,17
<i>Harpalus rufipes</i> (DeGeer, 1774)	0	1,5	0,96
<i>Harpalus tardus</i> (Panzer, 1797)	0	0,37	0,29
<i>Leistus ferrugineus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,17
<i>Microlestes minutulus</i> (Goeze, 1777)	0	4,13	14,15
<i>Omophron limbatum</i> (Fabricius, 1777)	3,85	0	0
<i>Oxypselaphus obscurus</i> (Herbst, 1784)	0	0	0,41
<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,06
<i>Poecilus versicolor</i> (Sturm, 1824)	0	0,37	0,06
<i>Pterostichus niger</i> (Schaller, 1783)	0	0	0,23
<i>Pterostichus strenuus</i> (Panzer, 1796)	0	0	0,12
<i>Stenolophus mixtus</i> (Herbst, 1784)	0	0	0,12
<i>Trechus secalis</i> (Paykull, 1790)	0	0	0,12
Chrysomelidae Latreille, 1802	0	4,49	4,89
<i>Asiolestia ferruginea</i> (Scopoli, 1763)	0	0	0,06
<i>Chaetocnema concinna</i> (Marsham, 1802)	0	1,12	2,25
<i>Chaetocnema mannerheimii</i> (Gyllenhal, 1827)	0	1,5	2,17
<i>Chaetocnema semicoerulea</i> (Koch, 1803)	0	0	0,06
<i>Longitarsus lycopi</i> (Foudras, 1860)	0	0,75	0
<i>Phyllotreta atra</i> (Fabricius, 1775)	0	1,12	0,29
<i>Psylliodes cuprea</i> (Koch, 1803)	0	0	0,06
Curculionidae Latreille, 1802	0	2,62	0,06
<i>Cleonis pigra</i> (Scopoli, 1763)	0	0,37	0
<i>Grypus equiseti</i> (Fabricius, 1775)	0	0	0,06
<i>Otiorhynchus ovatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,75	0
<i>Otiorhynchus tristis</i> (Scopoli, 1763)	0	0,75	0
<i>Phyllobius argentatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,75	0
Dermestidae Latreille, 1807	0	0,37	0,12
<i>Dermestes lanarius</i> Illiger, 1801	0	0,37	0,12
Dryopidae Fleming, 1821	0	0	0,06
<i>Dryops auriculatus</i> (Fourcroy, 1785)	0	0	0,06
Dytiscidae Latreille, 1802	3,85	0	0,06
<i>Rhantus frontalis</i> (Marsham, 1802)	3,85	0	0
<i>Acilius sulcatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,06
Elateridae Leach, 1815	0	2,97	0,12
<i>Agriotes sputator</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,74	0
<i>Agriotes obscurus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,37	0
<i>Agrypnus murinus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,37	0
<i>Ampedus sanguineus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,37	0,12
<i>Selatosomus aeneus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,37	0
<i>Sericus brunneus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,75	0
Eucinetidae Lacordaire, 1857	0	1,5	0
<i>Eucinetus haemorrhoidalis</i> (Germar, 1818)	0	1,5	0
Mordellidae Latreille, 1802	0	0	0,06
<i>Mordella aculeata</i> Linnaeus, 1758	0	0	0,06
Nitidulidae Latreille, 1802	0	0,74	0,36
<i>Epuraea guttata</i> (Olivier, 1790)	0	0,37	0

Семейство и вид	Отвал 1	Отвал 2	Отвал 3
<i>Eपुरaea marseuli</i> Reitter, 1872	0	0	0,18
<i>Meligethes aeneus</i> (Fabricius, 1775)	0	0	0,06
<i>Omosita colon</i> (Linnaeus 1758)	0	0	0,06
<i>Soronia grisea</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,06
<i>Soronia punctatissima</i> (Illiger, 1794)	0	0,37	0
Phalacridae Leach, 1815	0	0,37	0
<i>Stilbus testaceus</i> (Panzer, 1796)	0	0,37	0
Pselaphidae Latreille, 1802	0	0	0,17
<i>Pselaphus heisei</i> Herbst, 1792	0	0	0,17
Scarabaeidae Latreille, 1802	0	0,37	0,29
<i>Aphodius granarius</i> (Linnaeus, 1767)	0	0	0,06
<i>Aphodius merdarius</i> (Fabricius), (1775)	0	0,37	0
<i>Rhyssalus germanus</i> (Linnaeus, 1767)	0	0	0,23
Silvanidae Lacordaire, 1854b	0	0	2,51
<i>Silvanus bidentatus</i> (Fabricius, 1792)	0	0	2,22
<i>Silvanus unidentatus</i> (Fabricius, 1792)	0	0	0,29
Staphylinidae Latreille, 1802	0	32,65	5,39
<i>Aleochara brevipennis</i> Gravenhorst, 1806	0	10,16	0,29
<i>Atheta fungi</i> (Gravenhorst, 1806)	0	0	0,06
<i>Ocypus nero</i> (Faldermann), 1835	0	0	0,06
<i>Staphylinus erythropterus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,29
<i>Tachyporus chrysomelinus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,37	0
<i>Tachyporus obtusus</i> (Linnaeus, 1767)	0	0,37	0
<i>Tachyporus pusillus</i> Gravenhorst, 1806	0	1,12	0
<i>Xantholinus tricolor</i> (Fabricius, 1787)	0	0,75	0,23
<i>Drusilla canaliculata</i> (Fabricius, 1787)	0	19,88	4,46
Tenebrionidae Latreille, 1802	0	1,87	6,15
<i>Crypticus quisquilius</i> (Linnaeus, 1761)	0	1,87	6,15
Trogidae MacLeay, 1819	0	0	0,63
<i>Trox scaber</i> (Linnaeus, 1767).	0	0	0,63
Всего экземпляров	26	268	1738
Всего видов	8	50	66
Информационное разнообразие, H'	1,62	2,75	2,34
Концентрация доминирования, d	0,23	0,12	0,17
Выравненность по Пилу, e	0,78	0,70	0,56

В число доминантов на втором исследованном отвале наряду с *Ch. spinosa* были включены виды, тяготеющие к луговой растительности – жужелица *C. erratus*, которая в сравнении с самым молодым отвалом фосфогипса несколько увеличила свою численность, а также стафилиниды *Aleochara brevipennis* и *Drusilla canaliculata*. При этом относительное обилие последних трёх видов составило более половины от всех особей жесткокрылых, коллектированных на этом участке (табл. 1).

В качестве субдоминанта на втором исследованном участке выступала жужелица *Microlestes minutulus*. Относительное обилие остальных обнаруженных видов жесткокрылых на участке с более высокой площадью проективного покрытия растительности в сравнении с молодым отвалом было незначительным и не превышало 1,5% (табл. 1). В связи с относительно высоким информационным разнообразием жесткокрылых в данном сообществе и на фоне более чем в два раза низкой концентрацией доминирования в сравнении с предыдущим исследованным отвалом, а также на основании достаточно высокого значения выравненности можно сказать, что распределение видов в этом сообществе также соответствует модели разломанного стержня Маккартура (рис. 1). Эти особенности могут указывать на большое количество свободных экологических ниш в изученном сообществе, что предполагает его активное заселение из близлежащих экосистем.

На отвале № 3, характеризующимся в значительной степени развитым растительным покровом было зафиксировано 66 видов жесткокрылых. Число доминантов выросло до 5 видов: это уже упоминавшиеся выше пилюльщик *Ch. spinosa* и жужелица *C. erratus*, а так же пилюльщик *Morychus aeneus* (относительное обилие возросло в 10 раз по сравнению с предыдущими отвалами), жужелица *M. minutulus* (относительное обилие увеличилось в 3 раза) и чернотелка *Crypticus quisquilius* (относительное обилие увеличилось в 5 раз). Стафилинида *D. canaliculata* в связи с резким падением числен-

ности (в 4,5 раза по сравнению с предыдущим стационаром) была переведена в ранг субдоминантов. Следует отметить, что, несмотря на вариабельность структуры доминирования, экологические характеристики доминантов остаются прежними – это виды, предпочитающие открытые луговые экосистемы на песчаных почвах, а также заросшие прибрежные участки.

Наряду с высокими показателями информационного разнообразия и низкой концентрацией доминирования для данного сообщества характерна также низкая выравненность видов, что соответствует в большей степени модели логарифмически нормального распределения видов жесткокрылых (рис. 1). Эта модель указывает на достаточно зрелое и разнообразное сообщество в большей степени, чем предыдущие рассмотренные нами, близкое к естественным экосистемам.

При анализе экологических групп жесткокрылых исследованных территорий по отношению к влажности окружающей среды нами было выделено 6 таких групп: от ксерофилов до гидробионтов. Представители последних (*Rhantus frontalis* и *Acilius sulcatus*) – это чисто водные жуки, обитатели обводного канала, попавшие в ловушки совершенно случайно и не влияющие на видовую структуру сообществ жесткокрылых отвалов. Необходимо отметить тот факт, что при увеличении зарастания катастрофически уменьшается численность ксерофильных жуков при относительно стабильном их видовом богатстве (табл. 2). Также по мере уменьшения свободных зон с фосфогипсом на исследованных отвалах возрастает как видовое богатство, так и численность мезофильных (*Bembidion lampros*, *Bembidion varium*, *Sericus brunneus* и др.) и мезоксерофильных (*Otiorhynchus tristis*, *Cleonis pigra* и др.) видов. Значительный рост обилия и числа видов наблюдается и гигрофилов (*Ch. spinosa*, *M. aeneus*, *Agonum fuliginosum*, *Omphron limbatum*, *Grypus equiseti* и др.), облюбовавших берега обводного канала и обитающие как у уреза воды, так и на прибрежной растительности.

Следует отметить, что участок старого, наиболее заросшего, отвала характеризуется некоторым уменьшением числа видов мезоксерофилов в пользу мезогигрофилов, мезофилов и гигрофилов, при этом наблюдается также уменьшение численности мезофилов, несмотря на увеличения видового богатства (табл. 2).

При оценке биотопической приуроченности обнаруженных жесткокрылых можно выделить 4 группы видов из 7 выявленных, которые отличались достаточно высокими показателями видового богатства и численности: береговые, лесные, луговые и полевые виды (табл. 2). Водные, болотные виды, а также виды убиквисты были представлены незначительным числом видов и имели крайне низкую численность, что не позволило им сколь-нибудь значительно влиять на общую структуру биопреферендумов в исследованных сообществах жуков отвалов фосфогипса.

Сукцессионные изменения в растительном покрове исследованных отвалов наложило свой отпечаток также и на структуру сообществ жесткокрылых. Так основу сообществ составляли виды, тяготеющие к открытым пространствам – полевые и луговые, которые характеризовались достаточно стабильным видовым богатством и высокой численностью на всех трёх изученных отвалах. В то же время по мере увеличения площади покрытия травянистого покрова и древесной растительности они несколько сократили своё обилие в пользу лесных (*Ephippium secalis*, *Carabus arvensis*, *Pterostichus niger* и др.) видов (табл. 2). Также на наиболее заросшем отвале на долю береговых видов приходилось около трети всех коллектированных особей жуков.

Таблица 2

Экологические группы жесткокрылых в герпетобии отвалов фосфогипса
ОАО «Гомельский химический завод»

Экологические группы	Отвал № 1		Отвал № 2		Отвал № 3	
	число видов	относительное обилие особей, %	число видов	относительное обилие особей, %	число видов	относительное обилие особей, %
Гигропреферендум						
гидробионты	1	3,8	0	0	1	0,1
гигрофилы	2	26,9	5	23,5	16	50,2
мезогигрофилы	1	3,8	5	2,6	11	4,1
мезофилы	0	0	27	38,1	29	12,4
мезоксерофилы	1	3,8	10	32,1	7	26,9
ксерофилы	3	61,7	3	3,7	2	6,3
Биопреферендум						
водные	1	3,8	0	0	1	0,1
береговые	2	26,9	1	10,4	7	34,5

Экологические группы	Отвал № 1		Отвал № 2		Отвал № 3	
	число видов	относительное обилие особей, %	число видов	относительное обилие особей, %	число видов	относительное обилие особей, %
болотные	0	0	1	0,4	5	0,8
лесные	1	3,8	10	39,2	20	17,3
луговые	1	15,4	13	29,1	11	20,7
полевые	3	50,1	24	20,5	21	26,5
убиквисты	0	0	1	0,4	1	0,1
Пищевая специализация						
бриофаги	0	0	4	3,4	4	13,5
детритофаги	1	23,1	4	13,4	6	40,2
зоофаги	6	73,1	17	65,6	31	35,8
кератофаги	0	0	0	0	1	0,6
копрофаги	0	0	1	0,4	1	0,1
лимфофаги	0	0	1	0,4	1	0,1
миксофитофаги	0	0	0	0	2	0,2
мицетофаги	0	0	2	1,9	3	0,3
некрофаги	0	0	0	0	1	0,1
палинофаги	0	0	1	0,4	0	0
фитофаги	1	3,8	20	14,5	16	9,1
Всего видов	8		50		66	
Всего экземпляров		26		268		1738

Несмотря на достаточно широкий спектр пищевых специализаций жесткокрылых исследованных территорий (11), можно сказать, что основными из них в сообществах были виды, предпочитающие растительную и животную пищу, а также разлагающуюся органику (табл. 2). На голом, практически лишённом растительности отвале $\frac{3}{4}$ всех видов были зоофагами. Это вполне объяснимо, так как при незначительном наличии растительности, выявленные нами фитофаги и детритофаги ограничены в кормовой базе, а хищные жуки, в свою очередь, кроме фитофагов могут питаться и прочими беспозвоночными (пауками, моллюсками, червями и др.).

По мере сукцессионного зарастания наблюдается определенная перестройка в трофической структуре отвалов. Так зоофаги и детритофаги наращивают своё присутствие, увеличивая как видовое богатство, так и относительное обилие, а на фоне увеличения проективного покрытия и образования новых экологических ниш, которые заселяются палинофагами, некрофагами, копрофагами и др. видовое богатство и численность фитофагов снижается (табл. 2).

Выводы

Таким образом, в результате проведённых исследований на отвалах фосфогипса было зафиксировано 96 видов жесткокрылых, относящихся к 22 семействам. Основу сообществ жесткокрылых на отвалах составляют гигрофильные, мезофильные и мезоксерофильные луговые, полевые и луговые зоофаги и детритофаги, в меньшей степени – фитофаги. В процессе сукцессионных изменений, происходящих в сообществах жесткокрылых на отвалах фосфогипса, по мере их зарастания наблюдается увеличение, как видового богатства, так и численности жесткокрылых, а также уменьшение доли ксерофильных видов в пользу мезоксерофилов, мезофилов и гигрофилов. Также по мере увеличения проективного покрытия растительности увеличивается присутствие лесных видов на фоне стабильно высоких показателей полевых и луговых видов.

Список литературы

- 1 Avgin, S. S. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) as bioindicators of human impact / S. S. Avgin, V. L. Luft // *Munis Entomology & Zoology*. – 2010. – Vol. 5. – № 1. – P. 209–215.
- 2 Александрович, О. Р. Жуки жужелицы (Coleoptera, Carabidae) фауны Белоруссии / О. Р. Александрович // *Фауна и экология жесткокрылых Белоруссии* / О.Р. Александрович – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – С. 37–78.
- 3 *Coleoptera Poloniae* [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://coleoptera.ksib.pl/kfp>.
- 4 Renkonen, O. Statistisch-Ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore / O. Renkonen // *Ann. Zool. – Bot. Soc. Fennicae* – 1938. – №. 6. – 130 p.

**THE POPULATION AND ECOLOGICAL STRUCTURE OF HERPETOBIONT BEETLES
INHABITING PHOSPHOGYPSUM DUMPS OF GOMEL CHEMICAL PLANT**

As a result of the research of fluctuation changes in the Coleoptera communities inhabiting phosphogypsum dumps of Gomel Chemical Plant it was found out 96 beetles species belonging to 22 families. The research was carried out in 2011–2012. A gradual increase in species richness and beetles number and xerophilous species reduction in favor of mezoxerophilous and mesophilic ones was detected with increasing degree of overgrowth and changing the structure of plant communities dumps, as well as Coleoptera inhabiting this area. At the same time there is a significant presence of meadow and field phytophages and zoophages. Herewith to the extent of vegetational fluctuation the field species representatives are reduced in favour of the forest zoophages and detritophages.

Е. И. Тарун, А. В. Храповицкая, Е. Ю., Шидловская, В. П. Курченко

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

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ ГОЛУБИКИ И БРУСНИКИ

Проведено сравнительное изучение антиоксидантной активности экстрактов из листьев голубики трех сортов и брусники. Листья голубики подвергались сушке тремя различными способами: сушка СВЧ, сушка при 60 °С и лиофильная сушка. Экстракты из листьев брусники, получены различными способами: спиртовой экстракт, настой, чай и отвар. Получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстракта из листьев голубики и брусники, из которых графически определены показатели IC_{50} , которые составляли $1 \cdot 10^{-3}$ – $1,3 \cdot 10^{-2}$ % для экстрактов из листьев голубики и $4 \cdot 10^{-3}$ – $1,2 \cdot 10^{-1}$ % для экстрактов из листьев брусники.

➤ **Ключевые слова:** экстракт из листьев голубики, экстракт из листьев брусники, флуоресцеин, антиоксидантная активность.

Введение

Научной медициной широко используются многие лекарственные растения. Представляют интерес биологически активные вещества такого вида растения как голубика высокорослая. Ягоды и листья голубики широко применяются в качестве желчегонного и мочегонного, противовоспалительного средства, укрепляющего стенки сосудов, снижающего уровень сахара в крови, улучшающие аппетит, а также для профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы, онкологических заболеваний, предотвращающие процессы старения [1–4]. Анализ хроматографического исследования состава экстракта из листьев голубики показал наличие в нем 58% хинной кислоты, которая может обладать сильными антиоксидантными свойствами, так как в ее состав входит четыре гидроксильных группы, являющиеся ловушками радикалов [3].

Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis idaea* L., сем. *Vacciniaceae*) давно и успешно применяется в медицине как мочегонное средство. Отвары и настои, приготовленные из листьев брусники, обладают противовоспалительными, вяжущими, успокаивающими, тонизирующими, ранозаживляющими свойствами. Чай из брусничных листьев рекомендуется использовать для укрепления иммунитета. Применяют препараты брусники при острых и хронических заболеваниях почек с отеками, появлением белка и азотистых веществ в моче, пиелонефрите, гломерулонефрите, мочекаменной болезни, при гастритах, энтероколитах, колитах, при ревматизме, подагре, «шпорах», спондилоартрозе, артритах и полиартритах воспалительного и обменно-солевого происхождения [5–8]. Анализ хроматографического исследования состава экстракта из листьев брусники показал наличие в нем 54,5% арбутина – гликозида фенольного типа, который может обладать сильными антиоксидантными свойствами, так как в его состав входит пять гидроксильных групп, являющихся ловушками радикалов [3].

Метод определения антиоксидантной активности (АО) по отношению к активированным формам кислорода (АФК) является одним из наиболее применяемых в настоящее время [9–10]. Он основан на измерении интенсивности флуоресценции окисляемого соединения и ее уменьшении под воздействием АФК. В настоящей работе для детектирования свободных радикалов использован флуоресцеин, обладающий высоким коэффициентом экстинкции и близким к 1 квантовым выходом флуоресценции. Генерирование свободных радикалов осуществляли, используя систему Фентона, в которой образуются гидроксильные радикалы при взаимодействии комплекса железа (Fe^{2+}) с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA) и пероксида водорода [11–12].

В качестве ингибиторов радикальных процессов использовались экстракты из листьев голубики трех сортов: «Блюкроп», «Эрлиблю» и «Элизабет». Листья голубики подвергались сушке тремя различными способами: сушка СВЧ, сушка при 60 °С и лиофильная сушка. Экстракты из листьев брусники, получены различными способами: спиртовой экстракт, настой, чай и отвар.

Целью данной работы было определение и сравнение антиоксидантной активности экстрактов из листьев голубики и брусники.

Материалы и методы

Реагенты. Использовали соль Мора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Fe^{2+}), пероксид водорода (H_2O_2) фирмы «Реахим» (Россия), флуоресцеин, этилендиаминтетрауксусной кислоты (EDTA). Спиртовые экстракты из листьев голубики сортов: «Блюкроп», «Эрлиблю» и «Элизабет». Экстракты из листьев брусники.

Приготовление спиртового экстракта из листьев голубики.

Листья голубики подвергались сушке тремя способами: сушке СВЧ, сушке при 60 °С и лиофильной сушке. После сушки взвешивали 1 г измельченных сухих листьев голубики. Добавляли 9 мл 70% этилового спирта, перемешивали и ставили на 1 час в термостат при 50 °С. Экстракт отфильтровывали.

Приготовление раствора экстракта из листьев голубики.

Концентрацию исходного раствора экстракта принимали за 100%. Делали ряд разведений исходного раствора экстракта: в 5, 10, 50, 100, 500, 10^3 , $5 \cdot 10^3$, 10^4 , $5 \cdot 10^4$, 10^5 , $5 \cdot 10^5$ и 10^6 раз. Соответственно, концентрации полученных разведений составляли: 20; 10; 2; 1; 0,2; 0,1; 0,02; 0,01; $2 \cdot 10^{-3}$; 10^{-3} , $2 \cdot 10^{-4}$, 10^{-4} %. Концентрации растворов экстракта в пробе уменьшались в 10 раз и составляли: 2; 1; 0,2; 0,1; 0,02; 0,01; $2 \cdot 10^{-3}$; 10^{-3} ; $2 \cdot 10^{-4}$; 10^{-4} , $2 \cdot 10^{-5}$, 10^{-5} %.

Растворы соли Мора, H_2O_2 , EDTA и флуоресцеина готовили в 0,1 М Na-фосфатном буфере, pH 7,4.

Приготовление спиртового экстракта из листьев брусники. Листья брусники подвергались сушке при 60 °С и измельчали. Взвешивали 1 г измельченных сухих листьев брусники. Добавляли 9 мл 70% этилового спирта, перемешивали и ставили на 1 час в термостат при 50 °С. Экстракт отфильтровывали.

Приготовление настоя из листьев брусники. 2 г сухих листьев брусники заливали 20 мл дистиллированной воды при 100 °С, перемешивали и ставили на 1 час в термостат при 50 °С. Настой отфильтровывали.

Приготовление чая из листьев брусники. 2 г сухих листьев брусники заливали 20 мл дистиллированной воды при 100 °С, перемешивали и выдерживали 30 мин при комнатной температуре. Полученный раствор отфильтровывали.

Приготовление отвара из листьев брусники. 2 г сухих листьев брусники заливали 20 мл дистиллированной воды при 100 °С, перемешивали и кипятили на водяной бане 20 мин, выдерживали 30 мин при комнатной температуре и отфильтровывали.

Приготовление раствора экстракта из листьев брусники. Концентрацию исходного раствора экстракта принимали за 100%. Делали ряд разведений исходного раствора экстракта: в 5, 10, 50, 100, 500, 10^3 , $5 \cdot 10^3$, 10^4 , $5 \cdot 10^4$, 10^5 раз. Соответственно, концентрации полученных разведений составляли: 20; 10; 2; 1; 0,2; 0,1; 0,02; 0,01; $2 \cdot 10^{-3}$; 10^{-3} %. Концентрации растворов экстракта в пробе уменьшались в 10 раз и составляли: 2; 1; 0,2; 0,1; 0,02; 0,01; $2 \cdot 10^{-3}$; 10^{-3} ; $2 \cdot 10^{-4}$; 10^{-4} %.

Методика определения антиоксидантной активности экстракта из листьев голубики.

Общий объем пробы, помещаемый в кювету составлял 2 мл. В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М) и 1,98 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Прописывали спектр. Полученное значение пика флуоресценции принимали за 100%.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 1,58 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера и 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М). При взаимодействии Fe^{2+} с H_2O_2 (реакция Фентона) образующиеся радикалы подавляли свечение флуоресцеина. Полученное значение пика флуоресценции принимали за минимальное.

В кювету вносили 0,02 мл флуоресцеина (10^{-6} М), 0,2 мл Fe^{2+} с ЭДТА (10^{-3} М), 0,2 мл раствора экстракта из листьев голубики (10^{-4} – 20%) и 1,38 мл 0,1 М Na-фосфатного буфера. Реакцию начинали добавлением 0,2 мл пероксида водорода (10^{-2} М).

Конечные концентрации: флуоресцеин – 10^{-8} М, Fe^{2+} – 10^{-4} М, ЭДТА – 10^{-4} М, H_2O_2 – 10^{-3} М, раствор экстракта из листьев голубики – 10^{-5} – 2%.

Полученные значения пиков флуоресценции выражали в процентах, взяв за 100% флуоресценцию раствора без Fe^{2+} , ЭДТА, раствора экстракта из листьев голубики и пероксида водорода.

Методика определения антиоксидантной активности экстракта из листьев брусники была аналогичной.

Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм.

Результаты и их обсуждение

Для исследования антиоксидантной активности экстракта из листьев голубики были взяты листья трех сортов голубики: «Блюкроп», «Эрлиблю» и «Элизабет». Перед спиртовой экстракцией ли-

ства голубики подвергались сушке тремя различными способами: сушке СВЧ, сушке при 60 °С и лиофильной сушке. Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов.

Концентрацию экстракта из листьев голубики сорта «Блюкроп» в пробе изменяли в пределах 10^{-5} – 2%. На рис. 1 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации экстракта из листьев голубики сорта «Блюкроп» после сушки СВЧ (1), сушки при 60 °С (2) и лиофильной сушки (3).

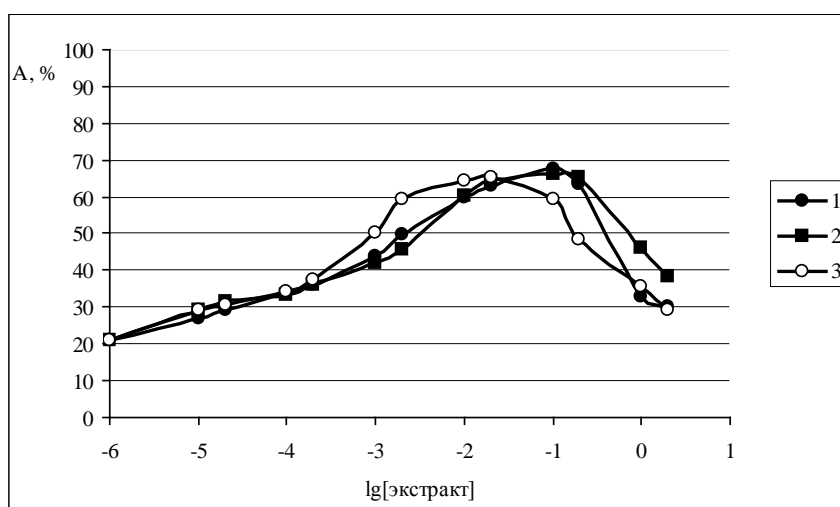


Рисунок 1 – Зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации экстракта из листьев голубики сорта «Блюкроп»: 1 – сушка СВЧ, 2 – сушки при 60 °С, 3 – лиофильная сушка

Положительный эффект при добавлении экстракта проявлялся при его концентрации 10^{-5} % (разведение исходного экстракта в 10^6 раз). Максимальное восстановление интенсивности свечения флуоресцеина до 67,4% наблюдается при концентрации экстракта 0,1% (разведение исходного экстракта в 1000 раз), полученного после сушки СВЧ. Экстракт, полученный после сушки при 60 °С восстанавливает интенсивность свечения флуоресцеина до 66,2% при той же концентрации – 0,1%. Экстракт, полученный после лиофильной сушки восстанавливает интенсивность свечения флуоресцеина до 65,4% при концентрации экстракта в 5 раз меньше – 0,02% (разведение исходного экстракта в 5000 раз). Повышение концентрации экстракта до 1% и выше приводит к снижению его антиоксидантной активности. Снижение активности хинной кислоты при повышении ее концентрации объясняется влиянием радикальных продуктов ее окисления на флуоресценцию флуоресцеина.

Концентрацию экстракта из листьев голубики сорта «Эрлиблю» в пробе изменяли в пределах 10^{-5} – 2%. На рис. 2 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации экстракта из листьев голубики сорта «Эрлиблю» после сушки СВЧ (1), сушки при 60 °С (2) и лиофильной сушки (3).

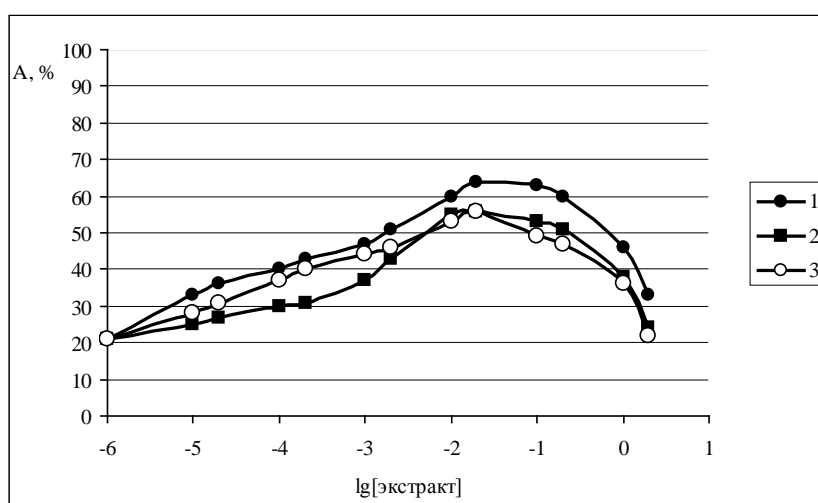


Рисунок 2 – Зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации экстракта из листьев голубики сорта «Эрлиблю»: 1 – сушка СВЧ, 2 – сушки при 60 °С, 3 – лиофильная сушка

Положительный эффект при добавлении экстракта проявлялся при его концентрации 10^{-5} % (разведение исходного экстракта в 10^6 раз). Максимальное восстановление интенсивности свечения флуоресцеина до 64% при концентрации экстракта 0,02% (разведение исходного экстракта в 5000 раз), полученного после сушки СВЧ. При той же концентрации экстракт, полученный после сушки при 60 °С и лиофильной сушки, восстанавливает интенсивность свечения флуоресцеина до 56%.

Концентрацию экстракта из листьев голубики сорта «Элизабет» в пробе изменяли в пределах 10^{-4} – 2%. На рис. 3 представлены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации экстракта из листьев голубики сорта «Элизабет» после сушки СВЧ (1), сушки при 60 °С (2) и лиофильной сушки (3).

Положительный эффект при добавлении экстракта проявлялся при его концентрации 10^{-4} % (разведение исходного экстракта в 10^5 раз). Максимальное восстановление интенсивности свечения флуоресцеина до 62% наблюдается при концентрации экстракта 0,2% (разведение исходного экстракта в 500 раз), полученного после сушки СВЧ. Экстракт, полученный после сушки при 60 °С и лиофильной сушки восстанавливает интенсивность свечения флуоресцеина до 52% при концентрации экстракта в десять раз меньше – 0,02% (разведение исходного экстракта в 5000 раз).

Основными показателями антиоксидантной активности при сравнительном анализе являются: A_{max} – интенсивность флуоресценции, соответствующая максимальному ингибированию свободных радикалов, выраженная в %, C – концентрация экстрактов, при которой достигается A_{max} и IC_{50} – концентрация экстракта, при которой достигается 50% ингибирования свободных радикалов.

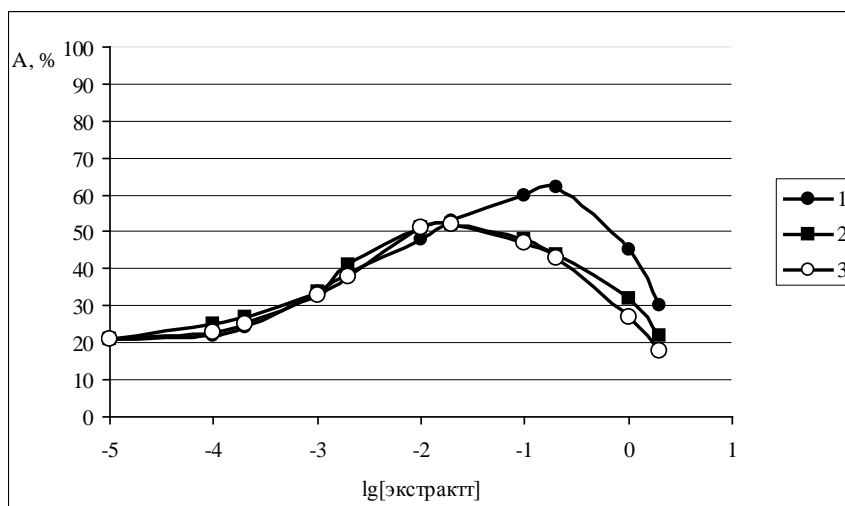


Рисунок 3 – Зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации экстракта из листьев голубики сорта «Элизабет»: 1 – сушка СВЧ, 2 – сушки при 60 С, 3 – лиофильная сушка

Значения IC_{50} получены из графиков зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов. В табл. 1 приведены основные показатели антиоксидантной активности экстракта из листьев голубики при их сушке СВЧ.

Таблица 1

Показатели антиоксидантной активности экстракта из листьев голубики

Сушка	Сорт голубики	C , %	A_{max} , %	IC_{50} , %
СВЧ	«Блюкроп»	0,1	67,4	$2 \cdot 10^{-3}$
	«Эрлиблю»	0,02	64	$2 \cdot 10^{-3}$
	«Элизабет»	0,2	62	$1,3 \cdot 10^{-2}$
60 °С	«Блюкроп»	0,1	66,2	$3 \cdot 10^{-3}$
	«Эрлиблю»	0,02	56	$5 \cdot 10^{-3}$
	«Элизабет»	0,02	52	$9 \cdot 10^{-3}$
Ллиофильная сушка	«Блюкроп»	0,02	65,4	$1 \cdot 10^{-3}$
	«Эрлиблю»	0,02	56	$8 \cdot 10^{-3}$
	«Элизабет»	0,02	52	$9 \cdot 10^{-3}$

Самая высокая антиоксидантная активность определена в экстракте из листьев голубики сорта «Блюкроп». В зависимости от вида сушки интенсивность флуоресценции флуоресцеина восстанавливалась от 65,4 до 67,4%. Антиоксидантная активность экстрактов из листьев голубики сорта «Эрлиблю»

несколько ниже – 56–64%. Экстракт из листьев голубики сорта «Элизабет» показал самую низкую антиоксидантную активность: действие АФК подавлялось от 52% до 62% в зависимости от вида сушки.

Самый низкий показатель IC_{50} определен в экстракте из листьев голубики сорта «Блюкроп» после лиофильной сушки, что говорит о его самой сильной ингибиторной способности по отношению к свободным радикалам. После сушки СВЧ IC_{50} этого сорта голубики был в 2 раза выше, а после сушки при 60 °С – в 3 раза выше, чем после лиофильной сушки, однако ниже, чем у других сортов голубики.

Самый низкий показатель IC_{50} у экстракта из листьев голубики сорта «Эрлиблю» определен после сушки СВЧ. Он аналогичен показателю IC_{50} , полученному после этой же сушки для голубики сорта «Блюкроп». После сушки при 60 °С IC_{50} этого сорта голубики был в 2,5 раза выше, а после лиофильной сушки – в 4 раза выше, чем после сушки СВЧ.

Самые низкие показатели IC_{50} у экстракта из листьев голубики сорта «Элизабет» определены после сушки при 60 °С и лиофильной сушки. Однако, они в 3 и 9 раз соответственно выше, чем аналогичные показатели у голубики сорта «Блюкроп». Самый высокий показатель IC_{50} определен у сорта голубики «Элизабет» после сушки СВЧ, что говорит о его самой слабой ингибиторной способности по отношению к свободным радикалам.

По эффективности протекторного действия от АФК экстракты из листьев голубики трёх сортов можно расположить в следующий ряд: «Блюкроп» > «Эрлиблю» > «Элизабет».

Различные методы сушки листьев могут оказывать влияние на получение экстракта с более высоким выходом активных веществ. Более высокие показатели A_{max} показывают, что при сушке СВЧ достигается более интенсивное восстановление флуоресценции флуоресцеина и, следовательно, более высокий выход активных веществ. Однако, концентрация, при которой достигается A_{max} и IC_{50} у сорта «Блюкроп» ниже при лиофильной сушке, что свидетельствует о более высокой антиоксидантной активности. Для сорта «Эрлиблю» концентрация, при которой достигается A_{max} , во всех случаях одинакова, а показатели IC_{50} уменьшается в ряду: лиофильная сушка > сушка при 60 °С > СВЧ сушка, что говорит в пользу сушки СВЧ. Для сорта «Элизабет» показатели IC_{50} имеют небольшие изменения, а концентрация, при которой достигается A_{max} в десять раз выше после сушки СВЧ, чем после сушки при 60 °С и лиофильной сушки, что также говорит в пользу лиофильной сушки. Таким образом, сушка СВЧ и лиофильная сушка способствуют более высокому выходу активных веществ при их дальнейшей экстракции, чем сушка при 60 °С.

Достаточно высокий уровень антиоксидантной активности экстрактов из листьев голубики позволит использовать их в медицинской практике, в качестве эффективных средств при лечении различных заболеваний.

Для исследования антиоксидантной активности экстракта из листьев брусники были взяты экстракты, полученные различными способами: спиртовой экстракт, настой, чай и отвар. Для всех образцов получены зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина от логарифма концентрации экстрактов.

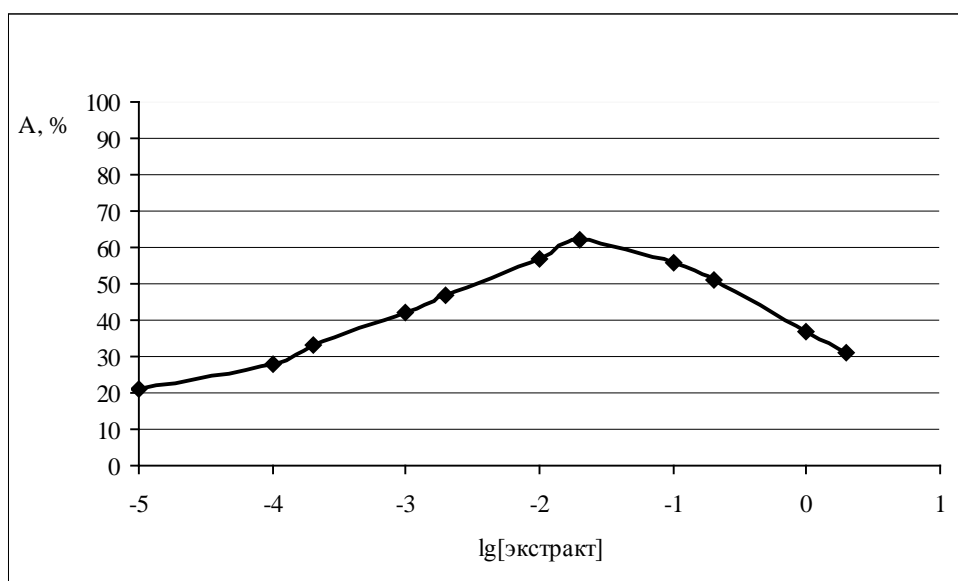


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (A) от логарифма концентрации спиртового экстракта из листьев брусники

На рис. 4 представлена зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации спиртового экстракта из листьев брусники. Положительный эффект при добавлении экстракта проявлялся при его концентрации 10^{-4} % (разведение исходного экстракта в 10^6 раз). Интенсивность свечения флуоресцеина восстанавливается до 62% при концентрации экстракта 0,02% (разведение исходного экстракта в 5000 раз). Повышение концентрации экстракта до 1% и выше приводит к снижению его антиоксидантной активности. Снижение активности арбутина при повышении его концентрации объясняется влиянием радикальных продуктов его окисления на флуоресценцию флуоресцеина.

На рис. 5 показана зависимость интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации настоя (1), чая (2) и отвара (3) из листьев брусники. Положительный эффект при добавлении экстракта проявлялся при его концентрации 0,01% (разведение исходного экстракта в 10^4 раз). При использовании настоя интенсивность свечения флуоресцеина восстанавливается до 40%, а при использовании отвара – до 42% при концентрации экстрактов 0,2% (разведение исходного экстракта в 500 раз). Самую высокую антиоксидантную активность показал экстракт чая. Взятый в той же концентрации, он восстанавливает интенсивность свечения флуоресцеина до 53%. Дальнейшее повышение концентрации экстракта приводит к незначительному снижению его антиоксидантной активности.

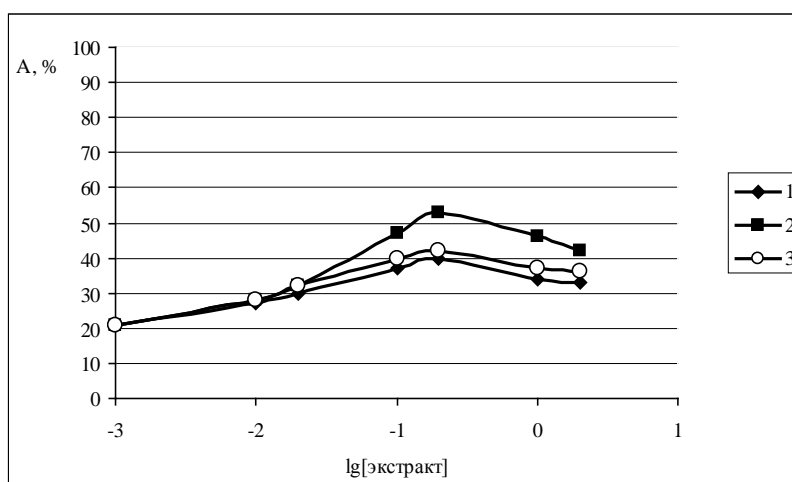


Рисунок 5 – Зависимости интенсивности флуоресценции флуоресцеина (А) от логарифма концентрации экстрактов из листьев брусники: 1 – настой, 2 – чай, 3 – отвар

В табл. 2 приведены основные показатели антиоксидантной активности экстрактов из листьев брусники. Самая высокая антиоксидантная активность определена в спиртовом экстракте. Самая низкая антиоксидантная активность получена для настоя и отвара из листьев брусники. Концентрация, при которой получены A_{max} , для чая, отвара и настоя в 10 раз выше, чем для спиртового экстракта, что свидетельствует о более низкой антиоксидантной активности, которую показывает арбутин в водных экстрактах. Показатель IC_{50} спиртового экстракта из листьев брусники в 30 раз выше, чем чая, что говорит о его очень высокой ингибиторной способности по отношению к свободным радикалам. Показатель IC_{50} для настоя и отвара из листьев брусники не был получен из-за низкой активности этих экстрактов.

Таблица 2

Основные показатели антиоксидантной активности экстрактов из листьев брусники

Экстракты	C, %	A_{max} , %	IC_{50} , %
Спиртовой экстракт	0,02	62	$4 \cdot 10^{-3}$
Настой	0,2	40	—
Чай	0,2	53	$1,2 \cdot 10^{-1}$
Отвар	0,2	42	—

Для лечения различных заболеваний рекомендуется готовить настой, отвар или чай из сухих листьев брусники. Однако полученные результаты показывают, что спиртовая экстракция позволяет выделить из сухих листьев брусники в раствор гораздо больше действующего вещества (в 30 раз), чем водная экстракция. Интенсивное и длительное нагревание водных экстрактов при приготовлении настоя и отвара из листьев брусники приводит к уменьшению антиоксидантной активности действующего вещества.

По эффективности протекторного действия от АФК экстракты из листьев брусники можно расположить в следующий ряд: спиртовой экстракт > чай > отвар > настой.

Достаточно высокий уровень антиоксидантной активности экстрактов из листьев брусники позволит использовать их в качестве эффективных средств при лечении различных заболеваний.

Список литературы

1. Курлович, Т. В. Голубика высокорослая в Беларуси / Т. В. Курлович, В.Н. Босак – Минск: Б. н., 1998. – 176 с.
2. Формирование биохимического состава плодов вида семейства Ericaceae (вересковых) при интродукции в условия Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.]; под ред. В. И. Паршенова – Минск: Б. н., 2011. – 307 с.
3. Биологически активные вещества лекарственных растений / В. П. Георгиевский [и др.]; под ред. Т. П. Березовской – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1990. – 333 с.
4. Bunea, A. Comparative polyphenolic content and antioxidant activities of some wild and cultivated blueberries from Romania /A. Bunea [et al.] // Not Bot Horti Agrobi. – 2011. – P. 70 – 76.
5. Богданова, Г. А. Оценка брусники как лекарственного сырья / Г. А. Богданова – Красноярск, 1975. – 14 с.
6. Мурри, И. К. Биохимия брусники /И. К. Мурри – М.: Колос, 1987. – С. 399–406.
7. Шимкунаите, Э. П. Народное понятие о формах брусники и ее применение в народной листовой медицине / Э. П. Шимкунаите – М. – Л.: Издательство АН СССР, 1959. – 497с.
8. Кошечев, А. К. Лесные ягоды: ареал, биология, ресурсы, химический состав, пищевая ценность, переработка и рецептура / А. К. Кошечев, Ю. И. Смирняков – М.: Лесная промышленность, 1986. – 125 с.
9. Cao, G. H. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants/ G. H. Cao, H. M. Alessio, R. G. Cutler // Free Radicals In Biology And Medicine, 1993. – Vol. 3, №14. – P. 303–311.
10. Ehlenfeldt, M. K. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of highbush blueberry / M. K. Ehlenfeldt, R. I. Prior // Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001. – Vol. 49. – P. 2222–2227.
11. Сычев, А. Я. Гомогенный катализ соединениями железа/ А. Я. Сычев, В. Г. Исак – Кишинев: Штиинца, 1988. – 216 с.
12. Wei, Y. A novel H₂O₂-triggered anti-Fenton fluorescent pro-chelator excitable with visible light/ Y. Wei // Chem. Commun., 2009. – Vol. 11. – P.1413–1415.

E. I. Tarun, A. V. Khrapovitskaya, E. Y. Shidlovskaya, V. P. Kurchenko

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACTS FROM LEAVES OF BLUEBERRY AND COWBERRY

The comparative study of the antioxidant activity of the extracts from the leaves of three varieties of blueberries and cowberries. Blueberry leaves were dried in three different ways: microwave drying, drying at 60 °C and freeze drying. Extracts from the leaves of cowberries, prepared in various ways: the alcohol extract, tincture, tea and broth. The dependence of the fluorescence intensity of fluorescein from the logarithm of the concentration of the extract from the leaves of blueberries and cowberries, of which graphically were defined indicators IC₅₀, which was $1 \cdot 10^{-3}$ – $1,3 \cdot 10^{-2}\%$ for the extracts from the leaves of blueberry and $4 \cdot 10^{-3}$ – $1,2 \cdot 10^{-1}\%$ for the extracts of leaves of cowlberry.

**Ж. А. Рупасова, И. И. Лиштван, В. В. Титок, А. П. Яковлев, Т. И. Василевская,
Н. Б. Криницкая, Л. В. Гончарова**

ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ РОСТРЕГУЛИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ГОЛУБИКИ НА ВЫРАБОТАННОМ УЧАСТКЕ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА СЕВЕРЕ БЕЛАРУСИ

Приведены результаты исследования влияния некорневых обработок тремя рострегулирующими препаратами, содержащими микроэлементы – «Волат-24», «КомплеМетСо» и «ЭлеГум-Комплекс», на биохимический состав плодов межвидового гибрида голубики *Northblue* в полевом эксперименте на выработанном участке торфяного месторождения на севере республики. Установлено существенное ингибирующее действие всех препаратов на биосинтез в плодах гидроксикоричных кислот и флавонолов при незначительном обогащении их растворимыми сахарами. Применение всех испытывавшихся препаратов приводило к снижению интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов голубики при наименьшей степени данного снижения (в 1,1–1,2 раза) на фоне использования препаратов «Волат-24» и «КомплеМетСо» и наибольшей (в 14,3 раза) при использовании препарата «ЭлеГум-Комплекс».

➤ **Ключевые слова:** рострегулирующие препараты, некорневые обработки, голубика, плоды, биохимический состав, органические кислоты, растворимые сахара, сахарокислотный индекс, биофлавоноиды.

Введение

Важнейшим элементом технологии возделывания представителей рода *Vaccinium* на рекультивируемых торфяных выработках севера Беларуси является оптимизация режима их минерального питания, направленная на максимально полную реализацию потенциала развития и плодоношения в специфических условиях существования. Нашими более ранними исследованиями на этих малоплодородных сильнокислых землях была показана высокая отзывчивость вересковых на внесение небольших доз полного минерального удобрения [4, 5]. Вместе с тем работы В. Е. Волчкова и И. В. Бордока [1–3] с представителями данного семейства на мелиорированных торфах в юго-восточной части Беларуси свидетельствуют также о высокой эффективности некорневых обработок микроудобрениями, способствующих заметной активизации ростовых и биопродукционных процессов. Однако при этом не было изучено их влияние на биохимический состав плодов вересковых, что и побудило нас к проведению исследований в данном направлении.

Условия, объекты и методы исследований

В условиях сезона 2014 г. на выработанном участке торфяного месторождения «Журавлевское» (Докшицкий р-н Витебской обл.) было исследовано влияние на основные биохимические характеристики плодов межвидового гибрида (*V. corymbosum* x *V. angustifolium*) *Northblue* трех рострегулирующих препаратов, содержащих микроэлементы, в том числе разработанного на основе гуминовых веществ учеными Института природопользования НАН Беларуси жидкого комплексного микроудобрения «ЭлеГум-Комплекс», содержащего в г/л – Cu-2,0, Mn-2,0, Zn-2,5, B-2,5; разработанного специально для внекорневой обработки сортовой голубики препарата «Волат-24», содержащего в хелатной форме в мл/л – Fe-5,0, Mn-4,0, Cu-1,0, Co-0,4, B-2,0, Mo-0,4, а также хелатного макроудобрения «КомплеМетСо», содержащего в %: N – 4,5; P₂O₅ – 9,9; K₂O – 9,2; S – 0,2; Zn – 1,5; Cu – 0,9; B – 0,45; Mn – 1,0; Mo – 0,015; Co – 0,005.

Полевые опыты были заложены на участке сильнокислого (рН_{KCl} – 2,8), малоплодородного (содержание P₂O₅ и K₂O не более 12–15 и 11–21 мг/кг соответственно), полностью лишенного растительности остаточного слоя донного торфа средней степени разложения, представленного сфагново-древесно-пушицевой ассоциацией. Схема опыта включала 4 варианта в пятикратной повторности: 1 – контроль без обработок; 2 – некорневые обработки препаратом «Волат 24» из расчета 2 мл на 1 л воды, 3 – некорневые обработки препаратом «КомплеМетСо» из расчета 5 мл на 1 л воды, 4 – некорне-

вые обработки препаратом «ЭлеГум-Комплекс» из расчета 7,5 мл на 1 л воды. Количество растений голубики на каждой опытной делянке составляло 14 кустов пятилетнего возраста. В соответствующих вариантах полевого опыта в конце вегетационного периода 2013 г., а также в фазы бутонизации и закладки цветковых почек в 2014 г. осуществляли трехкратную некорневую подкормку вегетирующих растений путем опрыскивания 1,5 л рабочего раствора испытывавшихся препаратов.

Повариантно в свежих усредненных пробах зрелых плодов определяли содержание: сухих веществ – по ГОСТ 8756.2–82 [9]; аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом [7]; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [7]. В высушенных при температуре 50–60 °С усредненных пробах плодов определяли: суммарное содержание растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом [10]; суммы антоциановых пигментов – по методу T. Swain, W. E. Hillis [14], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [13]; собственно антоцианов и суммы катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоколориметрическим методом [7, 8]; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – фотоколориметрическим методом [7]; гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом при длине волны 325 нм [6].

Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы *Excel*.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показали, что испытываемые препараты оказывали существенное, причем неоднозначное влияние на питательную и витаминную ценность плодов голубики, о чем свидетельствуют весьма широкие диапазоны варьирования в рамках эксперимента содержания в них определявшихся соединений (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Содержание сухих веществ, органических кислот и растворимых сахаров (в сухом веществе) в плодах межвидового гибрида *Northblue* в вариантах полевого опыта

Вариант опыта	Сухие вещества, %		Свободные органические кислоты, %		Аскорбиновая кислота, мг%	
	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}
1 – контроль	14,8±0,4		5,59±0,04		278,7±4,5	
2 – «Волат-24»	12,2±0,2	-5,2*	8,43±0,04	50,0*	346,5±10,9	5,8*
3 – «КомплеМетСо»	17,4±0,4	4,2*	3,68±0,01	-52,2*	276,2±7,5	-0,3
4 – «ЭлеГум-Комплекс»	14,9±0,4	0,2	6,08±0,07	6,0*	279,0±6,9	0
Вариант опыта	Гидроксикоричные кислоты, мг%		Растворимые сахара, %		Сахарокислотный индекс	
	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}
1 – контроль	1558,0±23,8		50,0±0,6		8,9±0,2	
2 – «Волат-24»	1021,7±10,3	-20,7*	52,3±0,4	3,2*	6,2±0,1	-15,4*
3 – «КомплеМетСо»	950,7±24,0	-18,0*	52,3±0,4	3,2*	14,2±0,1	26,7*
4 – «ЭлеГум-Комплекс»	1136,0±6,9	-17,1*	52,3±0,4	3,2*	8,6±0,1	-2,0

Примечание: * – статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$

Так, для содержания сухих веществ данные диапазоны составляли 12,2–17,4%, свободных органических кислот – 3,68–8,43%, аскорбиновой кислоты – 276,2–346,5 мг%, гидроксикоричных кислот – 950,7–1558,0 мг%, растворимых сахаров – 50,0–52,3%, значений сахарокислотного индекса – 6,2–14,2, общего содержания биофлавоноидов (Р-витаминов) – 15 530,8–22 867,5 мг%, в том числе антоциановых пигментов – 11 674–18 720 мг% (из них собственно антоцианов – 7160–10 320 мг%, лейкоантоцианов – 4514–9452 мг%), катехинов – 910–1001 мг%, флавонолов – 2855,8 – 3471,5 мг%.

Содержание основных групп биофлавоноидов в сухой массе плодов межвидового гибрида *Northblue* в вариантах полевого опыта, мг%

Вариант опыта	Собственно антоцианы		Лейкоантоцианы		Сумма антоциановых пигментов	
	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}
1 – контроль	9840,0±69,3		8568,0±20,8		18 408,0±90,1	
2 – «Волат-24»	10 320,0±69,3	4,9*	8400,0±99,7	-1,6	18 720,0±95,0	1,6
3 - «КомплеМетСо»	8800,0±100,0	-8,5*	9452,0±50,1	16,3*	18 252,0±90,1	-1,2
4 – «ЭлеГум-Комплекс»	7160,0±105,8	-21,2*	4514,0±79,8	-49,2*	11 674,0±113,3	-46,5*
Вариант опыта	Катехины		Флавонолы		Сумма биофлавоноидов	
	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}	X±st	t _{Cr}
1 - контроль	988,0±52,0		3471,5±65,5		22 867,5±91,1	
2 – «Волат-24»	936,0±45,0	-0,8	3039,2±26,2	-6,1*	22 695,2±69,0	-1,5
3 - «КомплеМетСо»	910,0±12,0	-3,1*	2999,9±34,7	-6,4*	22 161,9±166,2	-3,7*
4 – «ЭлеГум-Комплекс»	1001,0±34,4	0,2	2855,8±57,1	-7,1*	15 530,8±101,7	-53,7*

Примечание: * – статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$

Как следует из табл. 3, несмотря на индивидуальные особенности влияния каждого из испытывавшихся препаратов на биохимический состав плодов опытных растений, все они без исключения оказывали выраженное ингибирующее действие на биосинтез гидроксикоричных кислот и флавонолов, обусловившее снижение их содержания, относительно контроля, соответственно на 27–39% и 13–18% при наиболее выразительных различиях в первом случае на фоне применения препарата «КомплеМетСо», во втором – «ЭлеГум-Комплекса». Вместе с тем применение всех препаратов в равной степени способствовало незначительному (в пределах 5%), но все же достоверному обогащению плодов голубики растворимыми сахарами.

Кроме обозначенных эффектов, наблюдавшихся при использовании всех испытывавшихся препаратов, в характере их влияния на остальные характеристики биохимического состава плодов отчетливо проявились присущие каждому из них индивидуальные особенности. Так, некорневые обработки растений голубики препаратом «Волат-24» способствовали снижению в плодах, относительно контроля, содержания сухих веществ на 18%, на фоне активизации накопления в них, главным образом, аскорбиновой и в большей степени свободных органических кислот (соответственно на 24 и 51%), что сопровождалось весьма существенным (на 30%) снижением показателя сахарокислотного индекса, свидетельствующем об ухудшении их органолептических свойств. Наряду с этим применение данного препарата приводило к незначительному (не более чем на 5%) обогащению плодов голубики собственно антоцианами, являющимися наиболее ценной по физиологическому действию группой Р-витаминов с сильным антиоксидантным действием. Однако из-за показанного выше ингибирующего действия препарата на биосинтез флавонолов, а также отсутствия его достоверного влияния на накопление лейкоантоцианов и катехинов, это не оказало достоверного влияния на суммарное количество в плодах биофлавоноидов.

В отличие от предыдущего препарата, применение в эксперименте «КомплеМетСо» обусловило увеличение в плодах, относительно контроля, содержания сухих веществ на 18%. Наблюдавшееся при этом значительное их обеднение (на 34%) титруемыми кислотами, на фоне показанного выше некоторого обогащения растворимыми сахарами, обусловило существенное улучшение их органолептических свойств, подтверждаемое увеличением показателя сахарокислотного индекса почти на 60%, по сравнению с контролем. Аналогичные тенденции в изменении содержания данных соединений были выявлены и в наших более ранних исследованиях с данным препаратом, испытывавшимся на культуре яблони [12]. Вместе с тем его применение не оказало достоверного влияния на общее содержание в плодах антоциановых пигментов, но при этом вызвало заметные сдвиги в их составе, обусловленные сходным по относительной величине (в пределах 10–11%) усилением позиций собственно антоцианов при идентичном ослаблении их у лейкоантоцианов. Наряду с этим только «КомплеМетСо» оказал заметное ингибирующее действие на биосинтез в плодах катехинов, обусловившее

снижение их содержания на 8%, по сравнению с контролем, что вкупе с показанным выше ослаблением накопления флавонолов, привело к весьма незначительному (не более чем на 3%), но все же достоверному снижению в них общего количества биофлавоноидов.

Таблица 3

Относительные различия с контролем характеристик биохимического состава плодов межвидового гибрида Northblue в вариантах полевого опыта с некорневыми обработками растений рострегулирующими препаратами, %

Показатель	Вариант опыта		
	«Волат-24»	«КомплеМетСо»	«ЭлеГум-Комплекс»
Сухие вещества	-17,6	+17,6	—
Свободные органические кислоты	+50,8	-34,2	+8,8
Аскорбиновая кислота	+24,3	—	—
Гидроксикоричные кислоты	-34,4	-39,0	-27,1
Растворимые сахара	+4,6	+4,6	+4,6
Сахарокислотный индекс	-30,3	+59,6	—
Собственно антоцианы	+4,9	-10,6	-27,2
Лейкоантоцианы	—	+10,3	-47,3
Сумма антоциановых пигментов	—	—	-36,6
Катехины	—	-7,9	—
Флавонолы	-12,5	-13,6	-17,7
Сумма биофлавоноидов	—	-3,1	-32,1

Примечание: «—» – отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$

Однако наиболее выраженное ингибирующее действие на биосинтез последних в эксперименте оказали некорневые обработки растений препаратом «ЭлеГум-Комплекс». В наибольшей степени его отрицательное влияние отразилось на антоциановом комплексе плодов голубики, поскольку на фоне применения данного препарата наблюдалось снижение в них общего количества этих веществ почти на 37%, относительно контроля, в том числе собственно антоцианов на 27% и лейкоантоцианов на 47%. В сочетании же с показанным выше ингибирующим действием препарата на биосинтез в плодах флавонолов, это обусловило существенное (на 32%) снижение в них общего количества Р-витаминов, по сравнению с контролем. При этом не было выявлено достоверного влияния данного препарата, как, впрочем, и «Волат-24», на содержание в плодах катехинов. Несмотря на то, что обработки растений препаратом «ЭлеГум-Комплекс» обусловили усиление почти на 9%, по сравнению с контролем, накопления в плодах свободных органических кислот, это не привело к ухудшению их вкусовых свойств, из-за показанной выше активизации, хотя и незначительной, биосинтеза растворимых сахаров.

Нетрудно убедиться в доминировании негативных тенденций в изменении содержания ряда действующих веществ в плодах опытных растений под действием всех испытывавшихся регуляторов роста. С целью выявления препарата, оказавшего в эксперименте наименее выраженное отрицательное влияние на интегральный уровень питательной и витаминной ценности плодов голубики, относительно контроля, нами был использован собственный запатентованный методический прием [11], основанный на сопоставлении в вариантах с применением каждого из них относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений от контрольных значений исследуемых характеристик биохимического состава плодов. По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно было судить о выразительности различий каждого тестируемого варианта опыта с контролем по совокупности всех исследуемых признаков, что позволяло провести их ранжирование в порядке снижения степени данных различий. Соотношение же относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий с контролем являлось критерием наличия либо отсутствия преимуществ каждого тестируемого варианта, по сравнению с контролем, условно принятым за единицу, в биохимическом составе плодов в целом. Соответственно значения данного соотношения, превышавшие 1, свидетельствовали о наличии указанных преимуществ, тогда как значения, уступавшие 1, напротив, позволяли сделать вывод об их отсутствии.

Представленные в табл. 4 данные, характеризующие направленность и степень выразительности сдвигов в биохимическом составе плодов голубики в вариантах опыта с применением обработок, относительно контроля, показали наличие заметных межвариантных различий данных характеристик,

свидетельствующих о неидентичности ответной реакции опытных растений на испытывавшиеся рострегулирующие препараты.

Таблица 4

Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий с контролем в биохимическом составе плодов межвидового гибрида *Northblue* в вариантах полевого опыта с некорневыми обработками растений рострегулирующими препаратами, %.

Вариант опыта	Положительные сдвиги	Отрицательные сдвиги	Амплитуда	Отношение положит. к отрицат.
«Волат-24»	84,6	94,8	179,4	0,89
«КомплеМетСо»	92,1	108,4	200,5	0,85
«ЭлеГум-Комплекс»	13,4	188,0	201,4	0,07

При амплитуде различий с контролем тестируемых вариантов опыта в пределах 179,4–201,4% наиболее выразительно, причем в равной мере, они проявились на фоне обработок препаратами «КомплеМетСо» и «ЭлеГум-Комплекс». При этом, во всех вариантах с обработками относительные размеры совокупностей положительных различий с контролем в биохимическом составе плодов уступали таковым отрицательных, что свидетельствовало о снижении интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по анализируемому набору признаков. Повариантное сравнение соотношения относительных размеров положительных и отрицательных сдвигов в биохимическом составе плодов голубики относительно контроля показало, что в наименьшей степени данное снижение (в 1,1–1,2 раза) проявилось на фоне применения препаратов «Волат-24» и «КомплеМетСо», тогда как наиболее выразительным (в 14,3 раза), более чем на порядок превышающим таковое в данных вариантах опыта, оно оказалось при использовании препарата «ЭлеГум-Комплекс»

Выводы

В результате исследования влияния некорневых обработок тремя рострегулирующими препаратами, содержащими микроэлементы – «Волат-24», «КомплеМетСо» и «ЭлеГум-Комплекс», на биохимический состав плодов межвидового гибрида голубики *Northblue* в полевом эксперименте на участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения на севере республики установлено, что все препараты оказывали существенное ингибирующее действие на биосинтез гидроксикоричных кислот и флавонолов при незначительном обогащении их растворимыми сахарами.

Препарат «Волат-24» при этом стимулировал накопление в плодах собственно антоцианов, аскорбиновой и свободных органических кислот при снижении в них содержания сухих веществ и показателя сахарокислотного индекса и не оказывал влияния на содержание лейкоантоцианов, катехинов и общее количество биофлавоноидов. Препарат «КомплеМетСо» способствовал накоплению в плодах сухих веществ и лейкоантоцианов, а также значительному улучшению их органолептических свойств, на фоне обеднения свободными органическими кислотами, собственно антоцианами, катехинами и флавонолами и отсутствия влияния на содержание аскорбиновой кислоты. Препарат «ЭлеГум-Комплекс» стимулировал накопление в плодах титруемых кислот и ингибировал биосинтез антоциановых пигментов и флавонолов при наибольшем в эксперименте снижении содержания Р-витаминов, но при этом не оказывал влияния на вкусовые качества плодов и содержание в них катехинов.

Применение всех испытывавшихся препаратов приводило к снижению интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов опытных растений при наименьшей степени данного снижения (в 1,1–1,2 раза) на фоне использования препаратов «Волат-24» и «КомплеМетСо» и наибольшей (в 14,3 раза) при использовании препарата «ЭлеГум-Комплекс».

Список литературы

1. Бордок, И. В. Оценка некорневого питания голубики топяной (*Vaccinium uliginosum* L.) в культурфитоценозе / И. В. Бордок // Сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси. – Гомель, 2006. – Вып. 65. – С. 269–277.
2. Бордок, И. В. Эффект некорневого внесения микроэлементов в высоковозрастных посадках голубики / И. В. Бордок // Регуляция роста, развития и продуктивности растений : материалы VI Международ. науч. конф., Минск, 28-30 окт. 2009 г. / ИЭБ им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск, 2009. – С. 19.
3. Волчков, В. Е. Особенности влияния некорневых подкормок на ягодную продуктивность растений семейства *Vacciniaceae* / В. Е. Волчков, И. В. Бордок // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / Ин-та леса НАН Беларуси. – Гомель, 2009. – Вып. 69. – С. 743–752.
4. Голубика высокорослая. Оценка адаптационного потенциала при интродукции в условиях Беларуси / Рупасова Ж. А. [и др.] – Минск: Белорус. наука, 2007. – 442 с.

5. Культивирование клюквы крупноплодной и голубики топяной на выработанных торфяниках севера Беларуси / Яковлев А. П., Рупасова Ж. А., Волчков В. Е. – Минск: Тонпик, 2002. – 188 с.
6. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники : дисс. ... канд. фармацевт. наук. / Н. Г. Марсов – Пермь, 2006. – С. 99–101.
7. Методы биохимического исследования растений. / А. И. Ермаков [и др.]; под общ. ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд. – М.: ВО Агропромиздат, 1987. – 430 с.
8. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной. / В. Ю. Андреева [и др.]. // Фармация. – 2013 г. – № 3. – С. 19–21.
9. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. – Введен 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
10. Плешков, Б. П. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. – М.: Колос, 1985. – С. 110–112.
11. Способ ранжирования таксонов растения: пат. 17648 Респ. Беларусь, МПК А 01 Н 1/04, А 01 G 1/00 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев; заявитель ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» – № а 20101502, заявл. 20.01.2010, опубл. 08.07.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5. – С. 61–62
12. Рябцева Т. В. Оценка влияния некорневого внесения макро- микроэлементных хелатных удобрений «Комплет» на биохимический состав плодов яблони / Т. В. Рябцева, Ж. А. Рупасова // Плодоводство: сб. науч. тр./РУП Ин-т плодоводства. – Самохваловичи, 2012. – С 36–52.
13. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Тр. 3 Всесоюз. семинара по био логически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
14. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T Swain, W. Hillis // Journal Sci. Food Agric. – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63

**Zh. A. Rupasova, I. I. Lishtvan, V. V. Titok, A. P. Yakovlev, T. I. Vasileuskaya,
N. B. Krinitskaya, L. V. Goncharova**

THE INFLUENCE GROWTH REGULATING AGENTS OF THE BLUEBERRIES BIOCHEMICAL COMPOSITION ON THE TREATED AREA OF PEAT DEPOSITS IN THE NORTH OF BELARUS

The effect of foliar treatments growth-regulatory preparations containing microelements "Volat-24", "KompleMetCo" and "EleGum-Complex" on the biochemical composition of fruits blueberries in a field experiment on the peat-cut deposit in the north of the country are presented. It was found that the application of the root fertilizer decreased the level of integrated nutritional and vitamin value of the fruit with the least degree of reduction (in 1.1–1.2 times) against the use of preparations, "Volat-24" and "KompleMetCo" and most (14.3 times) when using the "EleGum-Complex".

Л. С. Чумаков¹, М. А. Невердасова²

¹Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича, г. Минск, Республика Беларусь
²Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАВЯНИСТЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ И ЗОЛОТАРНИКА КАНАДСКОГО (*SOLIDAGO CANADENSIS* L.) ПОД ПОЛОГОМ ГОРОДСКИХ ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

*В настоящее время на территории Беларуси широкое распространение среди агрессивных инвазивных видов получил золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.), активно внедряющийся в природные и антропогенные фитоценозы. Его внедрение под полог хвойных лесов несколько затруднено вследствие довольно специфических здесь условий среды, значительно отличающихся от открытых лугов, пустошей и светлых лиственных лесов. Негативное влияние ряда абиотических факторов в хвойных лесах отражается на проективном покрытии золотарника, а также некоторых его морфологических показателях.*

➤ **Ключевые слова:** фитоценоз, профиль, экологическая характеристика фитоценоза, золотарник канадский, морфология растения.

Введение

В настоящее время на территории Республики Беларусь зарегистрировано свыше 300 чужеродных видов растений [1, 2], из которых порядка 10 видов входят в перечень наиболее опасных агрессивных инвазивных видов. Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 10.01.2009 № 2 «О некоторых вопросах регулирования распространения и численности видов дикорастущих растений» в их число включен и золотарник канадский, который в послевоенный период XX в. использовался как растение озеленения, а также для повышения медоносности садов и сельхозугодий [3, 4].

В Беларуси золотарник канадский впервые появился в 50-е годы XX в. Кадастровое обследование территории страны в начале XXI в. позволило выявить более 200 мест его естественного произрастания общей площадью свыше 35,3 га [5]. А уже в 2013 г. только на территории г. Минска было зарегистрировано 198 таких мест общей площадью около 223,6 га [6].

Распространяясь по территории Беларуси, золотарник активно внедряется на луга, пастбища, выгоны, залежи, лесные опушки, вырубки, мелиорированные болота, пустыри и т. д. Основным источником его распространения являются приусадебные участки и кладбища, где золотарник используется в качестве растения озеленения.

Для разработки системы мероприятий по борьбе с этим инвазивным растением необходимо проведение целенаправленных исследований, как по инвентаризации всех мест его произрастания, так и установлению закономерностей его распространения в различных природных и антропогенных комплексах.

Оценка распространения золотарника на территории г. Минска выполняется нами с 2013 г. За период исследований установлено, что в городе золотарник произрастает на различных участках, предпочитая пустыри, выведенные из эксплуатации сельскохозяйственные земли, территории под ЛЭП, а также светлые городские леса и лесопарки по окраинам. Заслуживает внимания факт распространения золотарника под пологом не только светлых лесов с сосной в качестве основной лесобразующей породы, но и довольно темных участков городских ельников [6]. Внедрение золотарника в городские леса крайне нежелательно, поскольку в дальнейшем при отсутствии целенаправленных мероприятий по ограничению его распространения в этих массивах, именно они могут послужить основными резерватами золотарника на территории города.

С целью разработки мероприятий по ограничению распространения золотарника под пологом городских лесов необходимо установить закономерности его внедрения и стратегию поведения в этих сообществах. При изучении характера внедрения золотарника на новые территории, прежде всего, необходимо дать оценку фитоценозов и экологических условий этих территорий, что позволит установить основные закономерности и характер распространения золотарника в новых условиях. Изучение эколого-биологических характеристик золотарника в таких биогеоценозах даст возмож-

ность оценить качество его жизнедеятельности, что имеет большое значение для дальнейшей стратегии распространения этого растения.

В связи с вышесказанным основной целью настоящей работы явилась экологическая оценка травянистых фитоценозов городских хвойных насаждений в связи с внедрением в них чужеродного вида – золотарника канадского с одной стороны, и оценка эколого-биологических параметров золотарника в этих условиях с другой стороны.

Место и методы исследований

Для проведения исследований в полевой период 2015 г. был заложен профиль, включающий опушечную луговину, активно заселяемую золотарником в настоящее время, сосняк и ельник, под полог которых и происходит внедрение золотарника. Оба лесных массива, расположенные в лесопарковой зоне города Минска, подвергаются довольно мощной рекреационной нагрузке, вследствие чего напочвенный покров местами довольно сильно вытопан, развита густая сеть троп, лесных дорог и полян, используемых населением для отдыха. Опушечная луговина не используется для отдыха и активно зарастает золотарником и злаковым травостоем.

Опушечная разнотравно-злаковая луговина, расположенная по окраине соснового массива, характеризуется крайне невыровненным рельефом. Имеет овальную форму и занимает площадь немногим более 1 тыс. м². С одной стороны она частично ограничена гаражным кооперативом, вдоль которого золотарник образует в настоящее время практически чистый покров. Эта часть луговины расположена наиболее высоко в рельефе местности. В центральной части луговины имеется довольно сильное ямообразное понижение, которое, вероятно, периодически может быть затопляемо осадками, вследствие чего влажность почв здесь может быть выше, нежели по краям на склонах. В направлении сосняка луговина вновь переходит на склон. От сосняка резко не отграничена, поскольку край луговины здесь не выровнен. Помимо заходящих на луговину отдельных сосен с этой же стороны леса на ее территорию внедряются несколько молодых деревьев ивы козьей. Широкой полосой неподалеку произрастает осина. Древостой, ограничивающий луговину практически с трех сторон, оказывает существенное влияние на освещенность на поверхности почвы, заметно снижая поток солнечной радиации.

Сосняк в рельефе профиля расположен наиболее высоко. Согласно данным лесной таксации этот массив представляют лесные культуры 8С2Е в возрасте 50 лет. Изначальный тип леса – сосняк орляковый с полнотой 0,7, в настоящее время довольно сильно трансформированный в результате мощной рекреации. Напочвенный травянистый покров сильно вытопан, мозаичен. Мхи практически отсутствуют. На отдельных участках сосняка, менее посещаемых и вытаптываемых, наблюдается еловый подрост, образующий небольшие, но довольно плотные группы. В нижнем ярусе представлены: малина, лещина, дуб черешчатый (единично), ива козья, ирга, рябина (местами обильно), а также единичные деревья груши и алычи. Участок сосняка с расположенным на нем профилем в соответствии с составом растительности рассматривается нами как сосняк елово-разнотравно-злаковый.

Сосняк непосредственно переходит в значительный по площади массив дигрессирующего ельника кисличного (7ЕЗС) 65 летнего возраста с полнотой 0,7. Располагается ельник по склону, распространяясь вниз от сосняка на значительное расстояние. Рельеф слабоволнистый. Как и сосняк, ельник, активно используемый населением для отдыха, сильно вытопан, местами разрежен, пересекается большим числом троп и дорог. В настоящее время широко распространены зеленые мхи: *Plagiomnium affine* (Bland.) T. Kop. – Плагиомниум близкий (преобладает), *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. in B.S.G. – Гилокомиум блестящий и *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. – Плеврозиум Шребера. Кислица встречается изредка, образуя пятна с покрытием до 40%. В подлеске представлены крушина, рябина, бузина красная, а также местами обильно малина. Работа выполнена на участке с преобладанием кислично-мшистой ассоциации.

Как сказано выше, профиль располагается по территории луговины, сосняка и ельника и включает 36 пробных площадок по 1 м². На каждом участке профиля пробные площадки закладывали с учетом ширины участка, в связи с чем, их количество неоднозначно. Наибольшее число площадок (20) приходится на ельник. Это, прежде всего, обусловлено тем, что под пологом ельника золотарник распространен неравномерно и в небольшом количестве. Больше число проб было необходимо для получения статистически достоверных данных, а также оценки проникновения золотарника вглубь этого массива.

Собранные материалы обработаны с применением методов стандартной статистики [7]. Для оценки сходства травянистых фитоценозов с каждого участка профиля по видовому составу и проективному покрытию использован индекс Чекановского-Серенсена для качественных (K_{c-s} «А») и количественных (K_{c-s} «Б») данных. Пространственное распределение отдельных видов оценивали по показателям встречаемости и коэффициенту агрегации λ . Выделение доминантных видов проводили на

основании распределения всех видов по классам обилия [8]. Видовое разнообразие фитоценозов оценивали с помощью индекса Симпсона [9]. Определение растений до вида проводили по [10].

Экологическую структуру фитоценозов анализировали на основе экологических характеристик видов растений по Д. Н. Цыганову [11]. При этом оценку соотношения различных экогрупп в фитоценозах проводили без учета золотарника, что позволило получить картину реальных экологических условий на участках недавнего по времени внедрения этого агрессивного вида с целью последующего установления закономерностей его распространения.

Для оценки жизнеспособности золотарника в обследованных биотопах данного профиля и потенциала его распространения по территории нами выполнены исследования по изучению некоторых морфометрических параметров отдельных растений. С этой целью проводили измерение высоты растений, ряда параметров соцветия и листьев. У соцветия измеряли высоту, а также размеры одной из его веточек (произвольно взята 5-я снизу) и количество цветочных корзинок на ней. Измерение параметров листьев у растений проводили по 25 листу вниз от нижней веточки соцветия. Последнее обусловлено тем, что листья непосредственно под соцветием у многих растений оказались недоразвитыми, поврежденными листогрызущими насекомыми, а также (изредка) засыхающими. Листья ниже 25-го по стеблю в период цветения у значительной части растений были в отмирающем состоянии.

Результаты исследований

Травянистая растительность на участке расположения профиля представлена 41 видом, из которых 16 отмечены на луговине и по 24 в сосняке и ельнике (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав и проективное покрытие растений на обследованной территории

Вид	Разнотравно-злаковая луговина	Сосняк елово-разнотравно-злаковый	Ельник кислично-мшистый
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth. – Вейник наземный	55,5±8,90	2,7±0,53	7,7±3,46
<i>Dactylis glomerata</i> L. – Ежа сборная	4,0±0,64	46,3±8,97	+
<i>Phleum pratense</i> L. – Тимофеевка луговая	+		
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth. – Полевица тонкая	19,8±3,18	5,4±1,06	0,5±0,22
<i>Festuca ovina</i> L. – Овсяница овечья		+	
<i>Poa pratensis</i> L. – Мятлик луговой	+	+	
<i>Carex digitata</i> L. – Осока пальчатая			+
<i>Ranunculus repens</i> L. – Лютик ползучий			+
<i>Rumex obtusifolius</i> L. subsp. <i>sylvestris</i> (Lam.) Celak. – Щавель лесной		+	
<i>Hypericum perforatum</i> L. – Зверобой продырявленный	+	+	
<i>Viola canina</i> L. – Фиалка собачья			+
<i>Oxalis acetosella</i> L. – Кислица обыкновенная			+
<i>Geranium sanguineum</i> L. – Герань кроваво-красная		+	
<i>Plantago major</i> L. – Подорожник большой			+
<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult. – Короставник полевой		+	
<i>Vaccinium myrtillus</i> L. – Черника обыкновенная			+
<i>Geum urbanum</i> L. – Гравилат городской	+	+	0,8±0,29
<i>Fragaria vesca</i> L. – Земляника лесная		+	14,3±3,65
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch. – Лапчатка прямостоячая	+		
<i>Veronica chamaedrys</i> L. – Вероника дубравная	+	+	+
<i>Veronica officinalis</i> L. – Вероника лекарственная		+	+
<i>Melampyrum pratense</i> L. – Марьянник луговой			1,2±0,55
<i>Prunella vulgaris</i> L. – Черноголовка обыкновенная		+	
<i>Clinopodium vulgare</i> L. – Пахучка обыкновенная		+	
<i>Ajuga reptans</i> L. – Живучка ползучая			+
<i>Thymus serpyllum</i> L. – Тимьян обыкновенный		+	
<i>Galium verum</i> L. – Подмаренник настоящий	+	+	
<i>Galium intermedium</i> Schult. – Подмаренник средний			+
<i>Trifolium pratense</i> L. – Клевер луговой		+	
<i>Vicia sepium</i> L. – Горошек заборный	+		
<i>Pimpinella saxifraga</i> L. – Бедренец камнеломковый	+	+	

Вид	Разнотравно-злаковая луговина	Сосняк елово-разнотравно-злаковый	Ельник кислично-мшистый
<i>Pimpinella dissecta</i> Retz. – Бедренец разрезной			+
<i>Peucedanum oreoselinum</i> (L.) Moench – Горичник горный		+	
<i>Artemisia vulgaris</i> L. – Полынь обыкновенная	+	+	+
<i>Achillea millefolium</i> L. – Тысячелистник обыкновенный	+	+	
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. – Одуванчик лекарственный	+	+	+
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort. – Мицелис стенной			1,0±0,27
<i>Solidago virgaurea</i> L. – Золотарник обыкновенный			+
<i>Solidago canadensis</i> L. – Золотарник канадский	33,0±7,96	2,2±0,96	1,5±0,63
<i>Convallaria majalis</i> L. – Ландыш майский			+
<i>Pteridium aquilinum</i> L. – Орляк обыкновенный			+
Всего видов	16	24	24
Индекс Симпсона	0,329	0,481	0,265

Примечание: «+» – вид встречается единично либо проективное покрытие недостаточно

Широко распространены злаки, представленные на территории исследований 6 видами. Лишь три из них обнаружены в ельнике. Более равномерно распределены по участкам профиля сложноцветные, которых также насчитывается 6 видов. Прочие семейства представлены 1–4 видами. Анализ сходства видового состава травянистых фитоценозов на участках профиля показывает более высокую общность для травостоя луговины и примыкающего к ней сосняка (табл. 2).

Таблица 2

Величина индексов сходства видового состава и проективного покрытия травостоя по участкам исследованного профиля (Кс-с «А» / Кс-с «Б»), %

Биотоп	Разнотравно-злаковая луговина	Сосняк елово-разнотравно-злаковый	Ельник кислично-мшистый
Разнотравно-злаковая луговина	—	65,0/14,8	40,0/14,3
Сосняк елово-разнотравно-злаковый	65,0/14,8	—	41,7/26,2
Ельник кислично-мшистый	40,0/14,3	41,7/26,2	—

Это вполне закономерно, поскольку луговина расположена непосредственно на опушке сосняка, на территории которого в напочвенном покрове вследствие мощной рекреации четко проявляется олуговение. Орляк, представленный здесь прежде согласно данным лесной таксации, в период исследований нами не наблюдался. В то же время широкое распространение получили злаки с преобладанием *Dactylis glomerata* L. Данный вид, вероятно, наиболее устойчив к вытаптыванию вследствие особенностей его строения, что и позволяет ему распространяться по всей территории сосняка.

Напочвенный травянистый покров луговины и ельника, а также ельника и сосняка по видовому составу существенно различаются. Величина показателя сходства составила здесь около 40%, что также вполне закономерно вследствие особенностей экологических условий этих биотопов, в том числе существенной разницы в освещенности у поверхности почвы, микроклимата и др. факторов.

В напочвенном покрове луговины наиболее обильны злаки, проективное покрытие которых составило 79,3±12,7%. Среди представителей семейства преобладают *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. и *Agrostis tenuis* Sibth. Проективное покрытие вейника превышает 50%. Однако, несмотря на 100% встречаемость, распределен он по территории относительно агрегированно, о чем свидетельствует величина показателя агрегации – $\lambda = 2,925$. Полевица тонкая менее агрегирована и обильна. Ее проективное покрытие на период исследований не превышало 19,8% при $\lambda = 1,749$.

Треть территории луговины занята активно распространяющимся в настоящее время инвазивным видом *Solidago canadensis* L., который при 100% встречаемости распределен агрегированно ($\lambda = 3,393$).

Злаки господствуют и в травостое сосняка, где их проективное покрытие достигает 54,5±8,62%. Наиболее обильна здесь ежа сборная, покрытие которой на участке исследований превышает 46%.

Однако, несмотря на широкое распространение, ежа характеризуется довольно высокой степенью агрегированности ($\lambda = 4,171$). Такая неравномерность в распределении этого доминирующего растения помимо влияния абиотических факторов среды, вероятно, в некоторой степени может быть обусловлена и характером рекреации в данном лесном массиве.

Полевица тонкая, широко распространенная в Беларуси на лугах, в светлых лесах, на лесных опушках, вырубках и вдоль дорог [12] на участке исследований в данном сосняке необильна (проективное покрытие – 5,4%) и растет менее агрегированно ($\lambda = 1,432$). В небольшом количестве переходит под полог сосняка и вейник, характеризующийся случайным распределением ($\lambda = 1,016$).

Ельник с его специфическими условиями малоблагоприятен для большинства злаков, выявленных нами на данном профиле. Их общее покрытие составило $8,3 \pm 3,72\%$. Преобладает вейник (7,7%). Однако, в отличие от сосняка, под пологом елового леса вейник встречается довольно неравномерно и сильно агрегирован ($\lambda = 5,574$). На светлых участках ельника он образует пятна с покрытием до 50%, практически выпадая под густым пологом.

Существенные различия в проективном покрытии ряда видов растений, общих для всех участков профиля накладывают отпечаток на величину показателя сходства. Несколько выше он для травостоя хвойных массивов (см. табл. 2), тогда как общность травостоя луговины и хвойных лесов по проективному покрытию отдельных видов не превышала 14,8%.

81,2% всех видов травостоя луговины относятся к классу редких, немногочисленных и случайных, на которые приходится всего 8,2% суммарного проективного покрытия. В противоположность этому на долю доминирующих здесь вейника наземного и внедрившегося в сообщество золотарника канадского приходится 75,0% суммарного проективного покрытия.

В травостое сосняка и ельника доля редких и случайных видов возрастает до 91,6% видовой состава и 21,0 и 31,8% суммарного проективного покрытия соответственно. Доля доминантов по проективному покрытию в этих фитоценозах – 68,0 и 44,3%. Обычные виды в исследованных травянистых сообществах составили 4,2–6,3% общего числа видов, а также 11,0–23,9% суммарного проективного покрытия. Несколько более значимы они в ельнике.

Такая структура доминирования накладывает отпечаток на величину показателя видовой разнообразия Симпсона. Наиболее высок он для травостоя сосняка ($C = 0,481$), характеризующегося ярко выраженным монодоминированием *D. glomerata*. Единственным доминантом под пологом ельника в настоящее время является *Fragaria vesca* L., которая в сосняке относится к классу обычных видов. Однако доля этого доминанта в суммарном проективном покрытии травостоя ельника значительно ниже, чем доминирующей в сосняке ежи сборной. Это позволяет сделать предположение о более равномерном соотношении между видами в сообществе травостоя ельника по сравнению с сосняком и луговиной, где индекс Симпсона также несколько выше (0,329), чем в ельнике (0,265).

В целом, анализируя структуру травянистых фитоценозов всех трех участков профиля, следует отметить характерную для них монодоминантность, более выраженную под пологом дигрессирующего сосняка и примыкающей к нему опушечной луговины.

Экологические условия открытой луговины благоприятствуют развитию здесь группы растений, предпочитающих открытые пространства. В суммарном проективном покрытии травостоя на их долю приходится около 24%. Изменение характера освещенности под пологом хвойных лесов приводит к закономерному уменьшению доли этой группы в фитоценозах (рис. 1).

Доминируют растения полуоткрытых пространств, доля которых выше под пологом соснового леса. В ельнике, где степень освещенности на поверхности почвы под густым пологом заметно снижается, довольно значимы растения тенистых лесов, на долю которых приходится порядка 16% проективного покрытия травостоя.

Экологическая структура фитоценозов по отношению растений к трофности почв показывает существенные различия по биотопам данного профиля. В травянистом ярусе луговины преобладают растения, предпочитающие высокотрофные почвы (рис. 2). В сосняке наблюдается перестройка структуры фитоценоза, свидетельствующая о некотором обеднении почв элементами питания. Это отчасти может быть обусловлено деградацией почвенного покрова в результате сильной рекреации. Структура фитоценоза ельника показывает, что здесь наиболее активно развиваются растения, которые менее требовательны к содержанию в почве зольных элементов. Однако в целом соотношение экологических групп растений по данному показателю в ельнике может указывать на довольно выраженную здесь мозаичность почвенного покрова.



Рисунок 1 – Соотношение (%) групп растений по отношению к освещенности у поверхности почвы на исследованных участках профиля

Экологическая структура фитоценозов по отношению растений к трофности почв показывает существенные различия по биотопам данного профиля. В травянистом ярусе луговины преобладают растения, предпочитающие высокотрофные почвы (рис. 2). В сосняке наблюдается перестройка структуры фитоценоза, свидетельствующая о некотором обеднении почв элементами питания. Это отчасти может быть обусловлено деградацией почвенного покрова в результате сильной рекреации. Структура фитоценоза ельника показывает, что здесь наиболее активно развиваются растения, которые менее требовательны к содержанию в почве зольных элементов. Однако в целом соотношение экологических групп растений по данному показателю в ельнике может указывать на довольно выраженную здесь мозаичность почвенного покрова.



Рисунок 2 – Соотношение (%) групп растений по отношению к трофности почвы на исследованных участках профиля

Экологические условия профиля благоприятны для произрастания здесь растений, предпочитающих сухо-лесолуговой режим увлажнения почв (рисунок 3). В то же время в ельнике довольно хорошо представлены и более влаголюбивые растения, на долю которых приходится четверть суммарного проективного покрытия яруса. Такое соотношение экологических групп может являться довольно хорошим показателем повышенной увлажненности почв под пологом елового древостоя.

На влажные и тенистые условия ельника указывает также широкое развитие здесь зеленого мха *Plagiomnium affine* (Bland.) T.Kop., широко распространенного в Беларуси и произрастающего в сырых и тенистых лесах, особенно еловых, по сырым лугам и берегам водоемов [13].

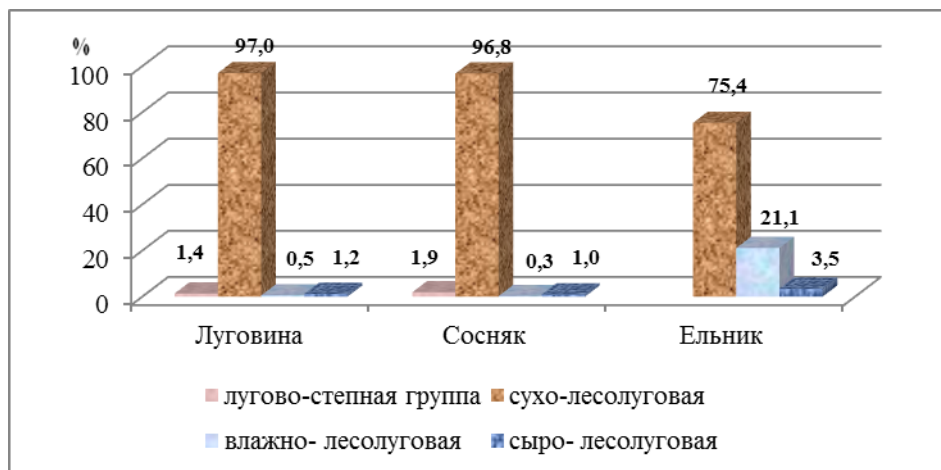


Рисунок 3 – Соотношение (%) групп растений по отношению к типу увлажнения почвы на исследованных участках профиля

Таким образом, экологическая оценка травянистых фитоценозов под пологом хвойных лесов и на опушечной луговине показала, что травостой здесь небогат и монодоминантен. Следовательно, эти сообщества неустойчивы, могут легко разрушаться и перестраиваться под воздействием изменяющихся условий среды, а также рекреационной нагрузки, характерной для данной территории. В такие неустойчивые монодоминантные сообщества могут довольно легко вселяться чужеродные виды растений, не испытывающие конкуренции со стороны местных видов. Внедрившись на эти территории новые чужеродные виды растений, не испытывая негативного давления со стороны, могут активно развиваться, образуя большие популяции и трансформируя прежние условия среды в благоприятную для себя сторону. Ограничением массового развития чужеродных видов на новых территориях могут явиться некоторые абиотические факторы среды, среди которых важную роль для растений играют свет, влажность и трофность почв. Под древесным пологом, вероятно, основным фактором будет являться степень освещенности у поверхности почвы. Недостаток света может негативно сказываться как на территориальном распространении тех или иных видов растений, так и некоторых их морфологических характеристиках.

Поскольку золотарник канадский в настоящее время уже внедрился в рассмотренные выше травянистые сообщества, то для установления характера и закономерностей его дальнейшего распространения под пологом древесных насаждений нами выполнена оценка его проективного покрытия на участках профиля, пространственного распределения, а также некоторых морфологических параметров, играющих важную роль в жизнедеятельности растения.

Внедрившийся на данную территорию золотарник канадский активно освоил опушечную луговину, а также довольно широко распространился под полог лесного массива, произрастая здесь преимущественно вдоль троп и дорог, а также по лесным полянам. Его проективное покрытие на луговине уже составляет 33,0%. При этом вид характеризуется 100% встречаемостью. Под пологом сосняка золотарник представлен значительно реже. Его встречаемость не превышает 60%, а проективное покрытие в период исследований составило всего 2,2%. В ельнике проективное покрытие золотарника не превышало 1,5% при его встречаемости 70%.

Следует заметить, что, несмотря на некоторое снижение проективного покрытия золотарника под пологом ельника, статистически достоверной разницы его для золотарника в обоих хвойных массивах не наблюдается. В противоположность этому его покрытие на луговине в 15–22 раза достоверно выше.

Анализ покрытия золотарника по отдельным пробным площадкам по профилю показывает, что произрастание этого растения на луговине более мозаично, чем под пологом хвойных лесов (рис. 4). Об этом же свидетельствует и величина коэффициента агрегации, которая более высока на луговине ($\lambda = 3,393$). Агрегированное распространение золотарника по луговине в некоторой степени может быть обусловлено его биологическими особенностями (например, кустистость), а также указывать на относительно недавнее заселение этой территории. Под пологом сосняка при низком проективном покрытии степень агрегированности золотарника меньше, чем на луговине ($\lambda = 2,055$). Это же характерно и для ельника ($\lambda = 2,294$), где более высокое проективное покрытие наблюдается на площадках, приходящихся на светлые участки (отдельные поляны и прогалины).

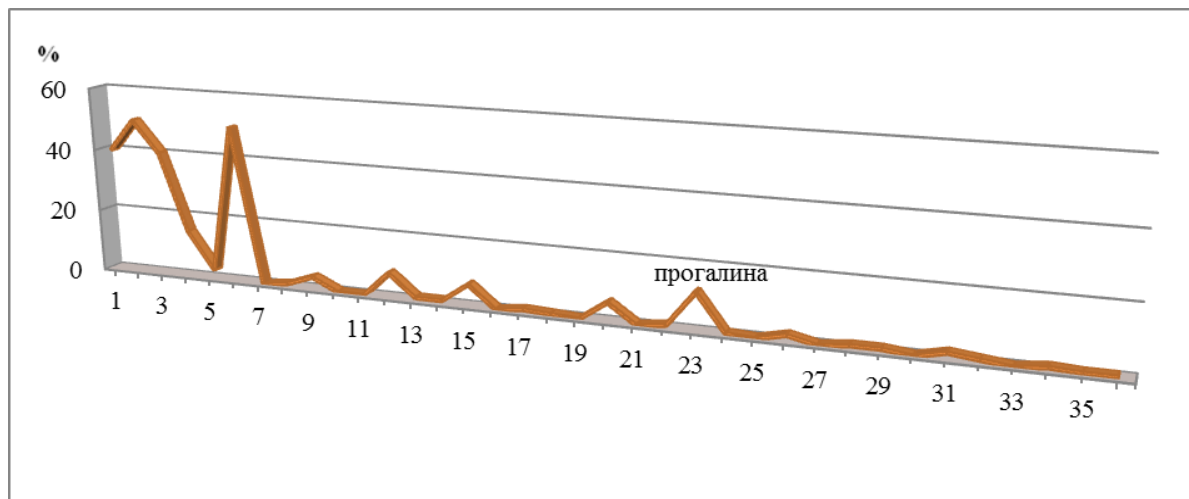


Рисунок 4 – Проективное покрытие золотарника по профилю (пробы 1–6 – луговина, 7–16 – сосняк, 17–36 – ельник)

Экологические условия, ограничивая распространение золотарника по территории исследований, накладывают некоторый отпечаток и на отдельные его морфологические параметры (табл. 3).

Высота растений золотарника на открытой опушечной луговине и в разреженном сосняке достоверно выше, чем под пологом елового леса. Максимальная высота отдельных растений на луговине составила 163,4 см, а минимальная – 104,6 см, тогда как в сосняке – 138,6 и 102,2 см соответственно. Амплитуда колебаний высоты растений золотарника на луговине была несколько выше, чем в сосняке. Однако достоверной разницы средней высоты для этих участков не выявлено. В то же время в ельнике 46% обследованных растений имели высоту от 80 до 95 см и лишь у одного растения (на прогалине) она превысила 139 см.

Таблица 3

Морфометрическая характеристика золотарника на территории исследований

Участок	Высота растения, см	Лист (25-ый)		Соцветие		
		Длина, см	Ширина, см	Длина соцветия, см	Длина 5-ой веточки, см	Количество корзинок на 5-й веточке, шт.
Разнотравно-злаковая луговина	130,1±3,97	6,3±0,36	0,8±0,06	14,2±1,21	4,9±0,59	58,4±5,61
Сосняк елово-разно-травно-злаковый	122,1±3,96	7,2±0,24	0,9±0,04	11,3±0,67	3,2±0,31	43,7±4,87
Ельник кислично-мшистый	101,8±3,01	—	—	8,1±0,60	—	—

В условиях луговины, вероятно, наиболее благоприятных для развития золотарника, у растений формируются и наиболее крупные соцветия. Их средняя длина достигает 14 см. Длина наиболее крупных соцветий золотарника на этом участке профиля превышала 21 см. У растений под пологом сосняка формируются достоверно ($t_d = 2,097$, $P = 95,0\%$) менее крупные соцветия, средняя длина длинна которых составила 11,3 см, а максимальная не превышала 14,8 см. В условиях елового леса, характеризующихся значительно меньшим количеством солнечной радиации под густым пологом и меньшей трофностью почв, снижение общей длины растений золотарника сопровождается значительным сокращением длины соцветия. По сравнению с растениями сосняка и луговины у золотарника в ельнике соцветия достоверно ($P \geq 99,0\%$) короче соответственно в 1,4 и 1,8 раза (см. табл. 3).

В общей надземной длине растения золотарника на участках данного профиля на соцветие приходится порядка 8–11%. Достоверная разница ($t_d = 2,979$, $P = 99,0\%$) по данному показателю выявлена лишь для растений с луговины и ельника. Доля соцветия в общей длине растения на луговине в 1,4 раза больше, чем в ельнике. Это, очевидно, может указывать на тот факт, что в условиях значительного затенения у золотарника более активно развивается вегетативная масса растения. Под пологом обоих хвойных массивов данный параметр не различается ($0,09 \pm 0,004$ и $0,08 \pm 0,005$ или 9% и 8% соответственно в сосняке и ельнике).

Уменьшение длины соцветия под пологом хвойного леса сопровождается также сокращением линейных размеров составляющих его веточек. Длина 5-й снизу веточки соцветия у растений в сосняке в 1,5 раза достоверно ($t_d = 2,553$, $P = 95,0\%$) меньше, чем на луговине. В то же время, несмотря

на некоторое сокращение числа корзинок на более коротких веточках, статистически достоверной разницы по данному показателю не наблюдается. Абсолютно не изменяется среднее соотношение длины веточки и количества корзинок на ней, которое у растений на обоих участках составило $0,08 \pm 0,007$. Следовательно, можно предположить, что в более мелких соцветиях пропорционально изменяются и параметры цветочных корзинок, которые также становятся меньше. А это, вероятно, должно отразиться и на качестве семенной продукции.

Оценка параметров листьев золотарника (на примере 25-го от соцветия листа) не показала достоверной разницы как их длины, так и ширины для растений на луговине и в разреженном сосняке (см. табл. 3). Нет достоверной разницы и по такому параметру, как отношение ширины листа к его длине. У растений на луговине этот показатель составил $0,13 \pm 0,008$, а в сосняке – $0,12 \pm 0,006$.

В то же время индекс отношения длины листа к высоте растения золотарника достоверно ($t_d = 2,778$, $P = 95,0\%$) меньше на луговине, где его величина составила $0,05 \pm 0,002$ по сравнению с $0,06 \pm 0,003$ в сосняке. Вероятно, это дает основание предположить, что некоторое (пусть даже незначительное) снижение высоты растения в условиях уменьшения освещенности под пологом леса сопровождается аналогичным увеличением у растения доли фотосинтезирующего аппарата.

Заключение

Таким образом, исследования, проведенные на профиле, проходящем через последовательно расположенные биотопы с несколько различающимися условиями среды, показали довольно существенную видоспецифичность формирующихся здесь травянистых фитоценозов. Из представленных на профиле 41 вида травянистых растений 16 произрастают на опушечной луговине, в противоположность чему на обоих участках хвойного леса видовой состав травостоя наполовину богаче. Преобладают злаки и сложноцветные, широко распространенные на всей территории. Среди выявленных на профиле травянистых растений лишь два вида характерны только для фитоценоза луговины, в противоположность чему под пологом сосняка их было 9, а ельника – 12, что накладывает существенный отпечаток на сходство этих сообществ по видовому составу. Более высокая общность характерна для травостоя луговины и примыкающего к ней сосняка – 65,0%. Наименее схожи сообщества травостоя луговины и трансформированного рекреацией ельника (40,0%). Все травянистые сообщества профиля характеризуются монодоминантностью. Доминирующими видами луговины являются вейник наземный и внедрившийся сюда инвазивный вид – золотарник канадский. Под пологом соснового древостоя наиболее обильно развивается ежа сборная. Ельник с его специфическими условиями не весьма благоприятен для массового развития травянистой растительности. Некоторое преимущество в настоящее время здесь получила земляника лесная, активно заселяющая открытые участки.

Специфика освещенности на поверхности почвы, а также ее физико-химические свойства накладывают отпечаток на структуру фитоценозов по отношению растений к некоторым факторам среды. Доминируют на профиле растения полуоткрытых пространств, предпочитающие сухо-лесолуговой режим увлажнения почв. Условия опушечной луговины по сравнению с таковыми под пологом хвойного древостоя несколько благоприятнее для растений открытых пространств, на долю которых приходится четверть суммарного проективного покрытия травянистого яруса. В противоположность этому в ельнике активно развиваются растения, предпочитающие тенистые леса и более влажные почвы.

Несколько различается структура травянистых фитоценозов исследованных участков профиля по отношению растений к трофности почв. На луговине и в сосняке преимущество в развитии получили растения богатых элементами питания почв, в противоположность чему в ельнике более значимы растения, произрастающие на небогатых почвах.

Анализируя в целом структуру травянистых фитоценозов опушечной луговины и хвойных лесов, расположенных на данном профиле, следует отметить, что, с экологической точки зрения, эти сообщества в силу своей монодоминантности, небогатого видового состава и некоторой его специфики по отношению к отдельным факторам среды, довольно неустойчивы. И, как следствие, такие фитоценозы могут быстро и существенно изменяться в результате воздействия негативных факторов среды, в том числе биотических.

Внедрение в такие сообщества чужеродного инвазивного вида растений – золотарника канадского сопровождается его активным распространением по луговине с характерным для нее режимом освещенности, более соответствующим полуоткрытым пространствам, а также довольно богатыми с невысокой влажностью почвами.

Внедрение золотарника под полог хвойных лесов происходит неактивно. В сильно трансформированном в результате рекреационной нагрузки сосняке золотарник в настоящее время освоил лишь около половины территории, где встречается небольшими пятнами. Его проективное покрытие здесь невелико. Еще более редок золотарник под пологом елового массива. Основные пути распространения в ельнике – осветленные участки вдоль троп и лесных дорог, а также небольшие прогалины и открытые поляны.

Экологические условия хвойных лесов, характеризующихся сокращением потока солнечной радиации к поверхности почвы, негативно отражаются на некоторых морфометрических параметрах растений золотарника. В условиях сильного притенения в ельнике снижаются длина растения и соцветия. В более мелких соцветиях закономерно пропорционально изменяются и параметры цветочных корзинок, которые также становятся меньше. А это, вероятно, отражается и на качестве семенной продукции. Если данный факт действительно имеет место, (что требует дальнейшего изучения), то можно допустить, что активного массового распространения золотарника канадского в данном лесном массиве в ближайшем будущем, вероятно, не произойдет.

Список литературы

1. Парфенов, В. И. Современная антропогенная динамика флоры: к проблеме мониторинга инвазивных чужеродных видов / В. И. Парфенов // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы Междунар. науч. конф., - Минск, 22-26 сент. 2008 г./Ин-т эксперимент. бот. им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси; редкол.: Н. А. Ламан (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2008. – С. 82–83.
2. Дубовик, Д. В. Инвазионные виды во флоре Беларуси / Д. В. Дубовик, А. Н. Скуратович, Д. И. Третьяков // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы II-ой междунар. науч.-практ. конф. Сб. науч. работ / Под общ. ред. В. И. Парфенова. – Минск, 2012. – С. 443–446.
3. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 10.01.2009 N 2 "О некоторых вопросах регулирования распространения и численности видов дикорастущих растений"//[Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic12/text030.htm> – Дата доступа: 20.02.2014.
4. Мотыль, М. Разнообразие золотарника в Беларуси и биорациональные способы ограничения его инвазионного распространения/ М.Мотыль, И.Гаранович. – Наука и инновации. 2014. – № 4. – С. 65–67.
5. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2011 / Под общ. ред. С. И. Кузьмина, И. В. Комоско. – Минск, «Бел НИЦ «Экология». – 2012. – С. 201–205.
6. Чумаков, Л. С. Эколого-биотопическая характеристика золотарника канадского (*Solidago canadensis* L) в г. Минске / Л. С. Чумаков [и др.] // Экологический вестник. – 2014. – № 4 (30). – С. 110–117.
7. Зайцев, Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
8. Песенко, Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю. А. Песенко. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
9. Одум, Ю. Экология: В 2-х т. Пер. с англ. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. Т. 2. – С. 133–134.
10. Определитель высших растений Беларуси / Под ред. В. И. Парфенова. – Минск: Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
11. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – М.: Наука, 1983. – 197 с.
12. Флора Беларуси. Сосудистые растения. В 6 т. Т.2. Liliopsida (Acoraceae, Alismataceae, Araceae, Butomaceae, Commelinaceae, Hydrocharitaceae, Juncaginaceae, Lemnaceae, Najadaceae, Poaceae, Potamogetonaceae, Scheuchzeriaceae, Sparganiaceae, Typhaceae, Zannichelliaceae) / Д.И. Третьяков [и др.]; под общ. ред. В.И.Парфенова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф.Купревича. – Минск: Беларус. навука, 2013. – С. 243.
13. Флора Беларуси. Мохообразные = Flora of Belarus. Bryophyta. В 2 т. Т. 1. Andreaeopsida–Bryopsida/ Г.Ф.Рыковский, О.М. Масловский; под ред. В.И.Парфенова. – Минск: Беларус. навука, 2004. – С.255–257.

L. S. Chumakov, M. A. Neverdasova

**ECOLOGICAL ASSESSMENT OF HERBACEOUS PHYTOCENOSES
AND *SOLIDAGO CANADENSIS* L. UNDER CANOPY
OF URBAN CONIFEROUS PLANTATIONS**

*The distribution of *Solidago canadensis* L. under the canopy of coniferous forest was studied. The research was conducted on the profile: the meadow on the forest edge – the pine forest transformed by recreation – spruce forest.*

*The grass canopy includes 41 plant species. It is poorer in the meadow. All investigated herbaceous phytocenoses are characterized by monodominance. *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. is abundant in the meadow, *Dactylis glomerata* L. prevails in the pine forest, *Fragaria vesca* L. – in the spruce forest.*

**S. canadensis* is currently well-established in the phytocenosis of the meadow, where it prevails with *C. epigeios*. The species settles inactive under the coniferous forest canopy. It is spread along trails, forest roads, clearings. Its projective cover is low here. The overall length of the plant and its inflorescence decreases under the forest canopy.*

*The research results suggest that the main refuge of *S. canadensis* on this area is the meadow on the edge.*

Т. П. Сергеева, Е. Г. Смирнова, В. И. Казанцева

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

ИНДИКАЦИОННАЯ РОЛЬ САРАНЧОВЫХ (INSECTA : ACRIDIDAE) ОСУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Установлена качественная и количественная структура сообществ саранчовых (Acrididae) заповедных и техногенно трансформированных территорий полесского ландшафта. Дана комплексная оценка структурно-функциональной организации сообществ саранчовых экологически разнородных биогеоценозов и выявлены закономерности ее изменения под воздействием антропогенных факторов.

Показано изменение структуры сообществ саранчовых под воздействием осушительной мелиорации низинных болот и дальнейшего использования земель в сельском хозяйстве. Отмечена роль саранчовых в качестве индикаторов среды и функционировании экосистем в условиях сукцессий аллогенного типа.

➤ **Ключевые слова:** саранчовые, заповедные территории, антропогенное воздействие, виды-индикаторы, адаптации.

Введение

Одной из важнейших проблем современности остается изучение биологического разнообразия аборигенной и интродуцированной флоры и фауны, а также динамики ее изменения в процессе антропогенного воздействия на естественные биогеоценозы.

Белорусское Полесье представляет собой пример глубокого преобразования сложившихся природных комплексов. Наиболее сильно мелиоративные работы затронули пойму р. Припять и ее притока Ясельды.

В последние годы значительное внимание уделяется изучению локальных фаун. Актуальность подобных исследований становится очевидной в связи с повсеместным обострением экологической ситуации, в том числе деградацией и уничтожением естественных ландшафтов. Поэтому выявление, инвентаризация и установление тенденций изменения локальных фаун является основой для создания региональных биодиагностических систем и организации мониторинга за качеством окружающей среды, разработкой природоохранных мероприятий и общей стратегии регионального природопользования [1].

Большая роль в фаунистических и экологических исследованиях отводится особо охраняемым природным территориям, главным образом – заповедникам, так как исторически процесс замены первичных ландшафтов протекает в нарастающем темпе, в результате чего в настоящее время естественные, в том числе и целинные территории, во многих странах стали достоянием лишь заповедников. Преобладающие на суше сельскохозяйственные ландшафты, возникшие по разным причинам и получившие термин агробиоценозов, являются следствием разрушения природных биогеоценозов и возникновением на их месте новых с иным сочетанием флористических и фаунистических компонентов, что проявляется в виде сукцессий аллогенного типа [2].

Роль саранчовых (*Acrididae*) – одного из наиболее биоценотически и хозяйственно важного семейства отряда прямокрылых (*Orthoptera*) отмечена в литературе [3, 4, 5]: они способны в определенных условиях умеренного климата давать вспышки массового размножения и поэтому отнесены к потенциально опасным видам. Кроме того, саранчовые являются господствующей группой первичных консументов-фитофагов и одной из наиболее многочисленных групп наземных беспозвоночных в биоценозах открытых ландшафтов [6, 7]. Во многих странах они доминируют – если не по численности, то по биомассе – [8]. Они также признаны надежными модельными объектами и индикаторами состояния среды [9, 10].

Все это дает основание считать, что долговременный мониторинг, а также выяснение ключевых параметров для оценки среды в отдельных регионах позволят заложить экологическую основу многолетних прогнозов динамики численности этих насекомых и уточнить некоторые общебиологические закономерности, что может обеспечить существенные экономические выгоды.

В контексте данной проблемы наши исследования направлены на выявление изменений, происходящих в сообществах саранчовых, вызванных антропогенным воздействием разного характера и силы: осушительная мелиорация естественных биогеоценозов и последующая трансформация осушенных земель в агроценозы.

С точки зрения оценки вклада саранчовых в функционирование экосистем, наибольший ущерб в лесостепной зоне, причиняемый саранчовыми, ощутим на территориях, активно используемых в сельском хозяйстве. По данным из приведенных выше источников саранчовые обычно утилизируют до 20% зеленых частей растений. Прослеживается также и региональная специфичность этой величины. Следует обратить внимание на то, что речь идет о нестадных саранчовых, так как ущерб, причиняемый стадными саранчовыми, во много раз больше.

Все выше сказанное позволяет констатировать, что изучение экологии и количественной динамики отдельных видов дают результаты теоретической и практической важности, так как выявление причин количественных и качественных колебаний популяций саранчи открывает возможность регулирования ее численности с целью предупреждения массовых размножений, а также определяет экономическое значение любого вида.

Результаты и их обсуждение

Климатические перемены и деятельность человека могут привести к изменениям в распределении популяций саранчовых во многих регионах, в том числе лесных и лесостепных. Реально как сокращение ареалов и снижение обилия вплоть до полного исчезновения одних видов (узко эндемичных и стенобионтных), так и нарастание численности других – особенно потенциальных вредителей. Последние могут использовать для расселения разнообразные антропогенные экологические комплексы и полуприродные экосистемы: рудеральные биотопы, придорожные полосы и луговины, возникающие вдоль мелиоративных каналов и другие ксеротермные местообитания [11].

В связи с этим особый статус заповедных территорий как эталонных участков биосферы предполагает детальное изучение их растительного и животного мира. Именно условия охраняемых территорий, где исключается всякая хозяйственная деятельность и вмешательство в естественный ход природных процессов, представляют уникальные возможности для длительных стационарных наблюдений в природе, а следовательно, для организации работ по инвентаризации фауны любого региона и являются точкой отсчета для установления характера изменений и тенденций преобразования исходной фауны.

Распределение саранчовых в разнотипных биотопах Белорусского Полесья

В пределах европейской (широколиственной) области очерчивается подзона широколиственно-сосновых лесов (грабовых дубрав, охватывающая юго-запад и юго-восток Беларуси. Для этой подзоны, имеющей равнинный рельеф, характерно наличие крупной водной артерии Припяти с притоками (Ясельда и др.), огромных массивов осушенных низинных болот, превращенных в агроценозы и пойменных лугов. Здесь же расположен Национальный парк «Припятский».

В результате проведенных исследований установлена структурная организация саранчовых (*Acrididae*) и тенденция ее изменения в экологическом ряду биотопов, включающих как естественных, так и представляющих сукцессии аллогенного типа. Результаты качественного и количественного анализа сообществ саранчовых разнотипных биогеоценозов полесского ландшафта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Биотопическая приуроченность и относительная численность (%) саранчовых (Acrididae) подзоны широколиственных сосновых лесов

№	Виды биотопов	Низинные неосушенные болота	Пойменные луга	Осушенные территории	Кормовые травы на осушенных болотах	
					тимофеевка	ежа сборная
1	<i>Caliptamus italicus</i> (L.)*			+		
2	<i>Arcyptera fusca</i> (Pall.)*			+		
3	<i>Pararcyptera microptera</i> (F.-W.)*			+		
4	<i>Ch. apricarius</i> (L.)		7,0	20,7	17,0	
5	<i>Ch. parallelus</i> (Zett.)	24,9	29,1			
6	<i>Ch. pullus</i> (Phill.)*			+		
7	<i>Ch. dorsatus</i> (Zett.)		15,4	6,4		12,0
8	<i>Chorthippus albomarginatus</i> (Deg.)	6,3	12,8	12,3	11,8	80,0
9	<i>Glyptobothrus brunneus</i> (Thunb.)		7,5	15,6	25,0	3,4

№	Виды биотопов	Низинные неосушенные болота	Пойменные луга	Осушенные территории	Кормовые травы на осушенных болотах	
					тимофеевка	ежа сборная
10	<i>Glyptobothrus biguttulus</i> (L.)		6,4	18,7	16,4	4,6
11	<i>Glyptobothrus mollis</i> (Charp.)			3,4		
12	<i>Gomphocerus rufus</i> (L.)*			+		
13	<i>Myrmeleotettix maculatus</i> (Thunb.)			5,7		
14	<i>Omocestus viridulus</i> (L.)	3,8	27,6	8,2	12,7	
15	<i>O. ventralis</i> (Zett.)*			+		
16	<i>O. haemorrhoidalis</i> (Charp.)			6,7		
17	<i>O. petraeus</i> (B.-Barn.)			+		
18	<i>Stenobothrus stigmaticus</i> (Ramb.)*			+		
19	<i>St. lineatus</i> (Panz.)*			+		
20	<i>St. nigromaculatus</i> (H.-Sch.)*			+		
21	<i>Podisma pedestris</i> (L.)*			+		
22	<i>Bryodema tuberculatum</i> (Fabr.)*			+		
23	<i>Aiolopus thalassinus</i> (Fabr.)*	0,1	1,2			
24	<i>Epacromius coerulipes</i> (Iv.)*					
25	<i>Psophus stridulus</i> (L.)			1,0		
26	<i>Stethophyma grossum</i> (L.)	60,5	33,1			
27	<i>Celes variabilis</i> (Pall.)*			+		
28	<i>Oedipoda coerulescens</i> (L.)			2,0		
29	<i>Sphingonotus coerulans</i> (L.) *			+		

Примечание: «+» – виды в единичных экземплярах, «*» – представители степной, полупустынной и пустынной фауны

Анализ данных, приведенных в табл. 1, позволил составить представление о сообществах саранчовых, населяющих биотопы, различающиеся степенью заповедности, нарушенности, микроклиматом, фактором влажности, что отразилось на их видовом составе, структуре доминирования и закономерностях ее изменения.

Болотные биоценозы, отличающиеся высокой влажностью, преобладанием в растительном покрове осок (*Carex*) с вкраплением гравилата речного (*Geum virale* L.) и других гигрофитных представителей разнотравья, населяют сообщества саранчовых, включающие небольшое число видов, представленных, преимущественно гигрофилами и частично – мезофилами. Доминируют 2 вида: кобылка болотная – *Stethophyma grossum* – доля которой составляет более половины (60,5%), и конек короткокрылый – *Chorthippus parallelus* – удельное обилие которого почти в 2,5 раза меньше (24,9%). В спектре жизненных форм кобылка болотная относится к осоково-злаковым хортобионтам, а конек короткокрылый – к факультативным хортобионтам. Другие виды, входящие в состав сообщества – травянка зеленая (*Omocestus viridulus*) и кобылка белополосая (*Chorthippus albomarginatus*) принадлежат к факультативным и злаковым хортобионтам. На границе болота с опушкой леса встречается летунья обыкновенная – *Aiolopus thalassinus* – подпокровный геофил, доля которого в группировке невелика (0,1%). Виды, входящие в состав сообществ саранчовых болотных биоценозов, по своей фенологии являются летне-осенними.

Пойменные луга содержат в растительном покрове много ценных луговых трав, а их высокий густой травостой отличается многообразием флористического состава. Здесь произрастают представители семейства лютиковых (лютик едкий), мотыльковых (чина луговая, мышинный горошек), гвоздичных (горичвет – кукушкин цвет) и многих других. Группировка саранчовых богаче по качественному составу, чем на болотах и состоит из 9 видов. Доминируют *Stethophyma grossum*, *Chorthippus parallelus* и *Omocestus viridulus*: 33,1%, 29,1%, 27,6% соответственно. Как видно, высокая влажность пойменных лугов, равно как и на болотах, является определяющим фактором в структуре доминирования. Следует отметить, что травянка зеленая (*Omocestus viridulus*) в сообществе саранчовых влажных биотопов полесского ландшафта более многочисленна, чем в группировках подтаежного, что объяснимо с точки зрения смены местообитания, когда мезофильные виды в условиях более теплого климата предпочитают более влажные места обитания. Группа субдоминантов состоит из саранчовых

рода *Chorthippus Fieb.* *Chorthippus dorsatus* (15,4%) и *Chorthippus albomarginatus* (12,8%), относящихся к злаковым хортобионтам. Редка и немногочисленна летунья обыкновенная – *Aiolopus thalassinus* (около 1%). И на границе биотопа встречаются коньки из рода *Chorthippus*.

Для этих биотопов, населенных преимущественно гигростенобионтными и гигрофильными видами (в меньшей степени мезофильными) характерно наличие 5-ти константных видов: *Omocestus viridulus*, *Chorthippus parallelus*, *Chorthippus albomarginatus*, *Stethophyma grossum* и *Aiolopus thalassinus*, значительно различающихся удельным обилием.

Так, ядро сообществ саранчовых естественных биогеоценозов юга Беларуси составляют гигрофильные стенобионты: кобылка болотная (*Stethophyma grossum*), конек короткокрылый (*Chorthippus parallelus*) и летунья обыкновенная (*Aiolopus thalassinus*) – специфичный вид для южной части Беларуси также, как *Chrysachraon dispar* – для северо-восточной.

Осушенные и не вовлеченные в хозяйственную деятельность луга занимают небольшие площади и покрыты сетью мелиоративных каналов. По набору растений напоминают осоково-злаковые с разнотравьем луга. Группировка саранчовых на таких участках включает наибольшее количество видов (25), часть из которых (13 видов) являются элементами степной, полупустынной и даже пустынной фауны, относятся к редким и встречаются в единичных экземплярах. Доминируют пластичные эврибионты: *Chorthippus apricarius* (20,7%), *Glyptobothrus biguttulus* (18,7%) и *G. brunneus* (15,6%). Субдоминанты представлены кобылкой белополосой – *Chorthippus albomarginatus* (12,3%) и травянкой зеленой – *Omocestus viridulus* (8,7%). Виды, входящие в ядро группировки, в спектре жизненных форм представлены злаковыми и факультативными хортобионтами. Доля остальных видов невелика и в спектре ЖФ одни из них – *Stenobothrus stigmaticus*, *St. lineatus*, *Omocestus petraeus*, *Glyptobothrus mollis* являются злаковыми хортобионтами, другие – *Omocestus viridulus* – относятся к факультативным хортобионтам. Спектр жизненных форм этого биотопа включает также и открытых геофилов: *Gomphocerus rufus*, *Bryodema tuberculatum*, *Aiolopus thalassinus*, *Psophus stridulus*, *Celes variabilis*, *Oedipoda coerulescens*, *Sphingonotus coeruleans*.

Как видно, условия этого биотопа: хорошая инсоляция, низкий изреженный травостой, разнообразие микростадий, определили существование многовидовой группировки, включающей представителей степной, полупустынной и пустынной фауны, таких как трещотка бугорчатая (*Bryodema tuberculatum*), голубокрылая кобылка (*Oedipoda coerulescens*), а также способствовали разнообразию жизненных форм.

Посевы кормовых трав на осушенных землях представлены культурами тимофеевки и ежи сборной. Наиболее экстремальные условия для саранчовых обнаруживаются на **посевах тимофеевки** с ее высоким густым травостоем и низкой инсоляцией, что сказалось на их видовом составе, где обитает самая обедненная в ряду обследованных биотопов группировка, включающая всего 4 вида. Доминирует конек обыкновенный – *Glyptobothrus brunneus* (25,0%), субдоминантами являются конек бурый – *Chorthippus apricarius* – (17,0%) и конек изменчивый и *Glyptobothrus biguttulus* (16,4%). В спектре жизненных форм это злаковые хортобионты.

На **еже сборной**, где в отличие от тимофеевки, невысокий травостой, больше открытого пространства и хорошая инсоляция, что в сочетании с обеспеченностью кормом способствовало созданию оптимальных условий для многократного увеличения численности кобылки белополосой (*Chorthippus albomarginatus*), известной в умеренном климате в качестве экономически важного вида, способного наносить значительный ущерб сельхозугодьям. В спектре жизненных форм относится к факультативным хортобионтам.

Анализ полученных данных позволил определить биотопическую приуроченность саранчовых в естественных биогеоценозах и измененных под влиянием антропогенных факторов, таких как осушительная мелиорация и последующее освоение земель под агроценозы и выпасы. Была выявлена качественная и количественная структура их сообществ в разнотипных биогеоценозах. Отмечено, что в условиях осушительной мелиорации и сельскохозяйственного освоения земель Белорусского Полесья наблюдается изменение структуры сообществ саранчовых (*Acrididae*) проявляющееся в их экологических характеристиках (рис.1).

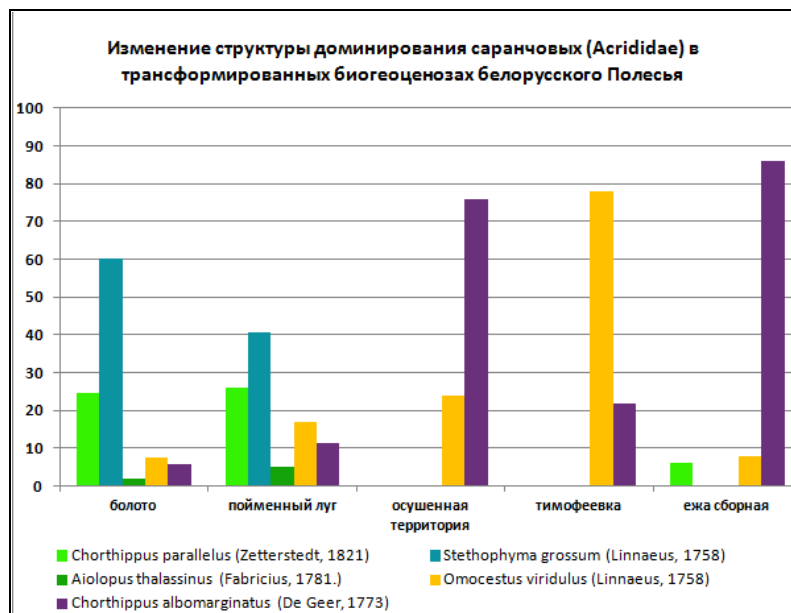


Рисунок 1 – Изменение структуры доминирования саранчовых в трансформированных биогеоценозах Белорусского Полесья

Как показано на рис. 1 процесс разрушения и преобразования естественных биогеоценозов под влиянием глобальной осушительной мелиорации на территории Белорусского Полесья сказывается на структуре сообществ саранчовых и сопровождается ее изменением. Это касается видового состава, когда идет процесс замещения одних видов другими: *Stethophyma grossum*, *Chorthippus parallelus* – гигрофильные стенобионты практически полностью исчезают, а на осушенных землях возрастает число мезофильных и ксерофильных видов. В агроценозах доминируют 1–2 вида, для которых условия оказываются оптимальными. Так, на тимфеевке, где высокий густой травостой, доминирует мезо-ксерофил – *Glyptobothrus brunneus*, а на ежа сборной – кобылка белополосая (*Chorthippus albomarginatus*), численность которой возросла на порядок, что делает этот вид хозяйственно важным из-за его способности оказывать значительное давление на биогеоценоз. С другой стороны, бедность и экологическое однообразие состава саранчовых на монокультурах свидетельствует о нестабильности таких биоценозов, проявляющейся в массовом размножении одного-двух видов. Характерно, что в сообществах саранчовых трансформированных биоценозов остается только один общий с естественными биотопами вид – кобылка белополосая (*Chorthippus albomarginatus*).

Характерным для пойменных лугов является наличие в составе их сообществ эврибионтных мезофильных видов. Другие виды относятся к умеренным гигрофилам, а также мезогигрофилам. Показатели численности и биомассы сообществ саранчовых – обитателей болот и пойменных лугов значительно различаются, о чем свидетельствуют их значения, которые почти вдвое выше для пойменных лугов. Сравнительный анализ полученных данных показал, что сообщества саранчовых естественных влажных биогеоценозов, находящихся на заповедных территориях, различаются незначительно по видовому составу и приверженности к режиму влажности. Наиболее сильные различия отмечены для показателей численности и биомассы. Так, численность и биомасса почти вдвое или более чем вдвое ниже на болотах по сравнению с пойменными лугами (2:1). Изменения количественной структуры саранчовых в экологически разнотипных биогеоценозах были прослежены наряду с изменением их относительной численности еще и по изменению их биомассы, которая является другим важнейшим количественным параметром сообществ любых организмов, в том числе и саранчовых, позволяющая установить степень воздействия или давления на биогеоценоз насекомых-фитофагов [12, 13]. Как отмечено в литературе, роль первичных консументов травянистых ландшафтов, к которым относятся все саранчовые, может быть определена на основе знаний структурно-функциональной организации их сообществ, закономерностей распределения зоомассы и ее количественных параметров [14].

В наших исследованиях изменение количественной структуры сообществ саранчовых в условиях антропогенного воздействия показано на примере 4-х модельных видов-фитофагов. Так, соотношение биомассы и ее динамика у конька лугового, конька бурого, травянки зеленой и кобылки белополосой в трансформированных биогеоценозах отражено на рис. 2, 3, 4, 5.



Рисунок 2 – Биомасса (г/га) *Omocestus viridulus* L. в биогеоценозах поймы р. Припять

Как видно из рис. 2 наибольшая биомасса этого вида характерна для пойменного луга, а наименьшая – для монокультуры (поля тимофеевки). Осушенный луг и выпас, имеющие практически одинаковые экологические условия, имеют и идентичные значения этого показателя.

Конек луговой (*Chorthippus dorsatus*), которому свойственен внутривидовой полиморфизм, встречается как на естественных пойменных лугах с умеренной влажностью и гигромезофитной растительностью, где обитают популяции, имеющие зеленую окраску, так и в техногенно трансформированных биогеоценозах: на осушенных лугах и выпасах, где условия характеризуются ксерофитностью, сухостью почвенного покрова, а популяции состоят из особей, окрашенных в бурый цвет (рис. 3).

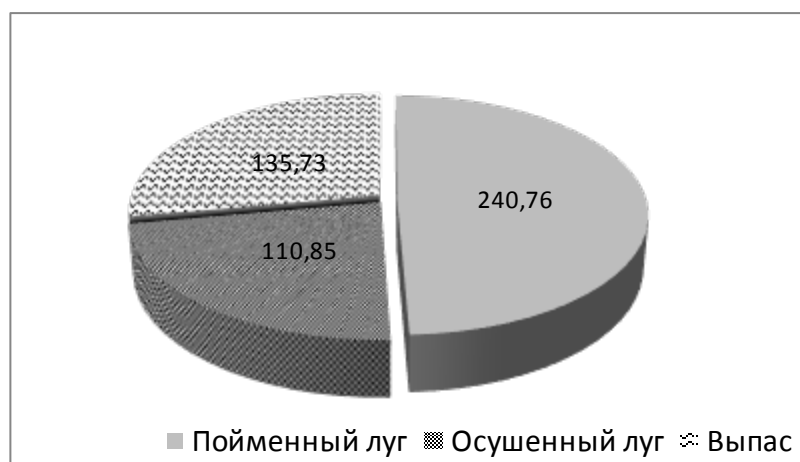


Рисунок 3 – Биомасса (г/га) *Chorthippus dorsatus* L. в биогеоценозах поймы р. Припять

Как видно из рис. 3 наибольшая биомасса конька лугового зарегистрирована на пойменном лугу, в агроценозе (на тимофеевке) и на выпасе этот показатель был почти одинаков, что характеризует его преимущественно как мезофильный вид, но с присущими чертами ксерофильности, позволяющими приспосабливаться к изменяющимся условиям.

Конек бурый – *Chorthippus apricarius* – рис. 4 встречался в трансформированных биотопах, где проявилась его склонность к ксерофитным местообитаниям. Наиболее высокая (чуть более половины) биомасса отмечена на осушенном лугу; почти вдвое меньше – на тимофеевке и еще меньше на выпасе.

На рис. 4 показано распределение биомассы и численные ее значения для конька бурого в местах его обитания. Так, наибольшее ее значение (16,53 г/га) регистрировалось на осушенном лугу, тогда как на выпасе и тимофеевке она составила 9,58 г/га и 6,85 г/га соответственно.

Наиболее значительные изменения количественной структуры (численности и биомассы) в антропогенно измененных условиях отмечены для кобылки белополосой – *Chorthippus albomarginatus*, что следует из рис. 5.

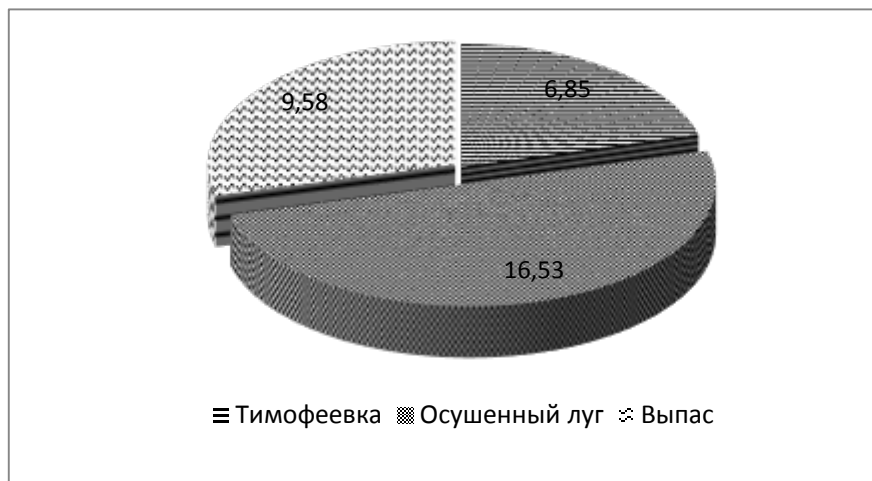


Рисунок 4 – Биомасса (г/га) *Chorthippus apricarius* L. в биогеоценозах поймы р. Припять

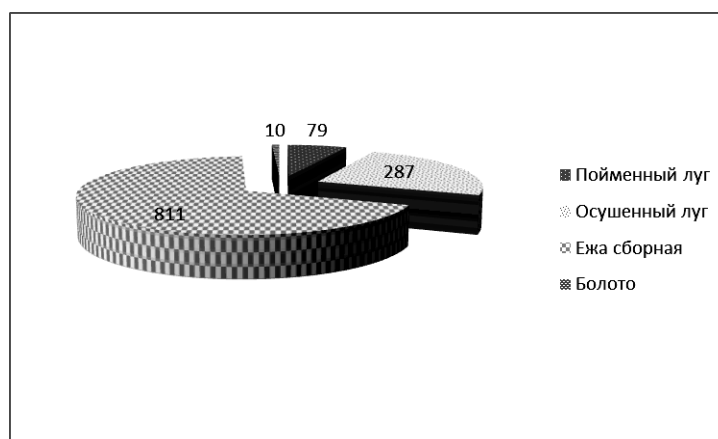


Рисунок 5 – Биомасса (г/га) *Chorthippus albomarginatus* Deg. в биогеоценозах поймы р. Припять

Наибольшие значения биомассы характерны для монокультуры (ежа сборная), где этот показатель почти на порядок выше, чем на естественном пойменном лугу.

Так, динамика количественной структуры популяций экологически разнородных видов в условиях антропогенного изменения исходных биоценозов, отражает процесс их деградации, который может сопровождаться массовым размножением отдельных видов, увеличением их биомассы и давлением на биогеоценозы.

Выводы

Полученные данные отражают процесс разрушения естественных (климаксовых) биогеоценозов, сопровождающийся обеднением качественной структуры, исчезновением или уменьшением гигрофильных видов и увеличением доли тепло- и сухолюбивых видов, среди которых немало известных вредителей сельхозугодий, таких как кобылка белополая.

Таким образом, саранчовые служат индикаторами процессов, протекающих на антропогенно-трансформированных территориях, что проявляется в изменении структурно-функциональной организации их сообществ: изменяется структура доминирования, возрастает доля аридных видов, отмечается многократное увеличение численности видов-вредителей в агроценозах. Установлена зависимость этих процессов от экологических факторов и определены закономерности функционирования в изменяющихся условиях, затрагивающие формирование ядра сообществ, изменение состава доминантов, изменение динамики численности и биомассы, а также состава спектра жизненных форм, что в целом свидетельствует о широких адаптационных возможностях саранчовых.

Предложены критерии интегрированного подхода для предотвращения негативного влияния саранчовых на экосистемы:

- организация системы долговременного слежения за населением саранчовых в агроландшафтах;
- оптимизация воздействия человека на ландшафты: обеспечение оптимального соотношения экосистем разных типов для каждого региона: (естественных экосистем, агроценозов и площадей пастбищ);

- рациональное землепользование (подбор монокультур для агроценозов с учетом их экологических характеристик), регулирование выпаса и разработка мер по восстановлению болотных биоценозов;
- своевременный анализ данных мониторинга о видах-вредителях сельхозугодий в целях предупреждения их массового размножения.

Оценка ключевых параметров среды в отдельных регионах позволит заложить экологическую основу многолетних прогнозов динамики численности саранчовых-фитофагов и уточнить некоторые общебиологические закономерности, что может принести существенные экономические выгоды.

Список литературы

1. Кармазина, И. О. Фауна и экология прямокрылых насекомых (Orthoptera) Хинганского природного государственного заповедника // Евразийский энтомолог. журн. – 2010. – 9 (2). – С. 187–194.
2. Копанева, Л. М. Прямокрылые и степень антропогенного пресса в агроценозах / Л. М. Копанева // Саранчов. Экол. и меры борьбы: сб. науч. ст. – Л, 1987. – С. 25–38.
3. Зубков, А. Ф. Некоторые принципы количественной характеристики агробиоценоза / А. Ф. Зубков // Энтомолог. обозрение. – 1970. – Т. 49, № 4. – С. 717–728.
4. Копанева, Л. М. Особенности распределения саранчовых в агроландшафтах Казахстана и Киргизии на макропрофиле от Чу-Балхашской впадины до Внутреннего Тянь-Шаня / Л. М. Копанева, С. Р. Насырова // Тр. Энтомолог. Об-ва. – 1986. – Т. 68. – С. 15–158.
5. Сергеев, М. Г. Вредные саранчовые России и сопредельных регионов: прошлое, настоящее, будущее / М. Г. Сергеев // Защита и карантин растений. – 2010. – №1. – С. 18–22.
6. Сергеев, М. Г. Изменение состава численности саранчовых в пустынных агроценозах Юго-Западного Таджикистана // Проблема освоения пустынь. 19876-N2. – С. 72–75.
7. Зубков, А. Ф. Трофическая структура ценозов пшеничных полей и изменение ее под влиянием химических обработок в Приобской лесостепи / А. Ф. Зубков, Р. П. Титова // Энтомологическое обозрение – 1976. – Т. 55, №1. – С. 5–18.
8. Стебаев, И. В. Динамика многовидовых сообществ саранчовых в условиях агроландшафта целинных и орошаемых земель Казахстана и Киргизии / И. В. Стебаев, С. Р. Насырова // Формирование животного и микробного населения агроценозов. – М: Наука, 1982. – С. 59–60.
9. Куркин, К. А. Вспышка массового размножения нестадных саранчовых в Барабе и ее влияние на луговую растительность / К. А. Куркин, И. В. Стебаев // Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы. Отдел. биол. – 1971. – Вып. 64, №1. – С. 51–60.
10. Сергеев, М. Г. Закономерности распределения насекомых-фитофагов в травянистых экосистемах Голарктики / М. Г. Сергеев // Изв. АН. Сер. биол. – 1998. – № 4. – С. 445–450.
11. Сергеев, М. Г. Новые данные о прямокрылых (Orthoptera) окрестностей Новосибирска / М. Г. Сергеев // Евразийский энтомолог. журн. – 2004. – Т. 3. – Вып. 3 – С. 173–174.
12. Стебаев, И. В. Возможности изучения трофической специализации саранчовых (*Orthoptera*, *Acrididae*) на основе анализа их экскрементов / И. В. Стебаев, Л. Б. Пшеницына // Энтомолог. обзор. – 1984. – Вып. 63, №3. – С. 433–446.
13. Столяров, М. В. Динамика трофических отношений между группировками прямокрылых (*Orthoptera*) и растительностью в некоторых биотопах Закавказья / М. В. Столяров // Новейшие достижения с.-х. энтомол. Тез. докл. – Вильнюс, 1981. – С. 163–167.
14. Столяров, М. В. Экологические группировки прямокрылых (*Orthoptera*), динамика их биомассы и потребления на высокогорьях Большого Кавказа Грузии / М. В. Столяров // Энтомолог. Обзор. – 1977. – Т. 56, №3. – С. 532–545.

T. P. Sergeeva, E. G. Smirnova, V. I. Kazantseva

INDICATOR ROLE OF GRASSHOPPERS (INSECTA: ACRIDIDAE) OF DRAINED LAND OF THE BELARUSIAN POLESYE

The qualitative and quantitative structure of the communities of grasshoppers (Acrididae) in the reserved and technologically transformed areas of Polesye landscape has been established. The complex estimation of the structural and functional organization of grasshopper communities in ecologically diverse ecosystems has been given, and the regularities of its change under the influence of anthropogenic factors have been revealed.

The change of grasshopper community structure under the influence of the drying melioration of low-level bogs and the further using of lands in agriculture has been shown. The role of grasshoppers as environmental indicators and in functioning ecosystems in the successions of an allogenic type has been noted.

ЗНАЧЕНИЕ КАРАНТИННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ШИРОКОЙ РЕАКЛИМАТИЗАЦИИ ОЛЕНЯ БЛАГОРОДНОГО В БЕЛАРУСИ

В статье рассматриваются исторические вопросы распространения оленя благородного на территории Беларуси. Дана характеристика оленя благородного как ресурсного вида и его значение в охотничьем хозяйстве республики. Определено значение карантинных мероприятий в профилактике инфекционных и инвазионных болезней при вселении оленя благородного в охотничьи угодья Республики Беларусь. Приводятся анализ рисков и их последствия при несоблюдении условий передержки животных в вольерах.

➤ **Ключевые слова:** благородный олень, карантинные мероприятия, профилактика инфекционных и инвазионных болезней, охотничьи хозяйства Республики Беларусь, реакклиматизация.

Введение

Благородный олень с давних времен был одним из главных объектов охоты. Нерегулируемая добыча оленя, сокращение площадей лесов, ухудшение кормовой базы, мощный пресс хищников и браконьерства привели к тому, что естественный видовой ареал быстро сокращался, приобрел разорванный, мелко мозаичный характер.

Впервые европейский благородный олень (*Cervus elaphus etaphus*) вместе с родом настоящие олени (*Cervus*) был описан в 1758 году шведским ученым Карлом Линнеем. Семейство оленьих (*Cervidae*), впервые описанное немецким палеонтологом и зоологом G. A. Goldfuss в 1820 году, является относительно молодой ветвью в составе отряда парнокопытных и зародилось в раннем неогене, в то время как сам отряд (*Artiodactyla*) появился в среднем палеогене (50–55 млн. лет назад). Семейство включает 45 ископаемых и 10–16 современных родов. Представители данных родов распространены в Евразии (включая Малайский архипелаг), Северной, Центральной и Южной Америке, Северо-Западной Африке. Несколько видов интродуцированы в Австралии, Новой Гвинее, Новой Зеландии, на Мадагаскаре, Маврикии и некоторых островах Карибского бассейна и западной части Тихого океана. Сам род *Cervus* известен в Азии из плиоцена (2,6–5,3 млн. лет назад) и свое развитие начал в южной ее части, где в настоящее время имеет наибольшее разнообразие видов. Олени этого рода пришли взамен древних эукладоцеросов – сложнорогих оленей.

Среди копытных животных Европы благородный олень является одним из значимых объектов рекреационных ресурсов, способных в полной мере удовлетворять потребности человека в отдыхе и туризме.

В Беларуси благородный олень населял всю ее территорию, но был полностью истреблен во второй половине XVIII в. Впервые в нашей стране реакклиматизация благородного оленя проведена на территории Беловежской пуши. В период с 1864 по 1905 гг. в пушу из разных стран Центральной Европы было завезено более 500 оленей. Несмотря на допущенные ошибки, реакклиматизация оленя в Беловежской пуше была результативной. Данный вид наряду с лосем и европейской косулей является типичным представителем парнокопытных млекопитающих семейства оленьих, встречающихся в фауне Беларуси.

Современная численность благородного оленя в Беларуси приближается к 14 тыс. особей. Но этот показатель более чем скромнен по сравнению с соседними европейскими странами. Например, для сравнения: площадь лесов в Польше приблизительно равна 6,8 млн. га, что значительно меньше, чем в Беларуси (около 9,5 млн. га). Между тем численность оленя в Польше почти в 10 раз больше – 95 тыс. особей. В соседней Литве, лесов в которой в несколько раз меньше, чем в нашей стране, имеется 16 тыс. оленей. Аналогичная ситуация наблюдается и в Латвии, где оленя добывается в 6 раз больше, чем у нас. Размер добычи оленей в Германии составляет 53 тыс. особей, в Австрии – 41–46 тыс. Известно также, что благородный олень достиг большой плотности в Европе. Так, например, во Франции данный вид обитает в основном в лесных насаждениях, куда был интродуцирован в 1950–1960 гг., и его плотность составляет 3–4 особи на 100 га, но нередко достигает 40 ос./100 га. В Венгрии плотность оленя находится в пределах 5–10 ос./100 га, в Норвегии добыча производится из расчета 1–2 ос./100 га при плотности 5–10 ос./100 га, а в Шотландии обычна плотность 7–14 ос./100 га.

Аборигенный благородный олень появился на территории современной Беларуси практически в аналогичный с Европой период.

С исчезновением Скандинавского ледника во времена потепления в Атлантическом периоде ареал распространения благородного оленя расширяется в северо-восточном направлении. Изучение палеонтологического материала (Паавер, 1965; Верещагин, Исаков, 1979) с целью определения ареала благородного оленя в разные исторические эпохи указывает, что средний голоцен характеризует самое широкое распространение. Северная граница проходила от Финского залива через Псковскую и Смоленскую область, далее по р. Оке.

Возобновление работ по реаклиматизации благородного оленя в Беларуси было начато в 1956 г. Первые партии этих животных были завезены из Воронежского заповедника и выпущены в Березинском заповеднике (71 олень), затем в 1963–1965 гг. – в Логойском и Лиозненском районах (68 особей), в 1967 г. – в Чериковском заказнике и Осиповичском лесхозе (по 50 оленей).

С 1968 г. основными поставщиками племенного материала становится ГЗОХ «Беловежская пуца» и несколько позже Осиповичский лесхоз, где ежегодно для Беларуси и стран ближнего зарубежья отлавливалось и вывозилось соответственно 100–110 и 20–30 особей различного пола и возраста. Наиболее успешное формирование популяций отмечено в Дятловском и Новогрудском лесхозах Гродненской области, в Чериковском и Осиповичском – Могилевской, в Минском, Воложинском и Негорельском – Минской.

В некоторых лесхозах Беларуси созданные микропопуляции оленя по различным причинам (формирование вывозимых партий производилось без учета пола и возраста животных, места выпуска по кормовым и защитным свойствам не соответствовали требованиям зверей, отсутствие надлежащей охраны и биотехнических мероприятий и др.) не получили дальнейшего развития и находятся в стадии депрессии.

Влияние промысла на структуру популяции оленя анализировалось по материалам отстрела и отлова животных. Начиная с 1977 по 1984 гг. в каждой из созданных популяций отстреливалось не более 10 особей в год, с 1985 по 1994 гг. – в пределах 8–9% от учтенного поголовья. В этот период в добыче доля взрослых особей составляла 60,5% (самцы – 25,2%, самки – 74,8%), двухлетки – 7,4% (35,3% и 64,7%), сеголетки – 32,1% (34,2% и 65,8%). Сравнивая половозрастную структуру популяций, полученную по материалам добычи, с данными учетов по экскрементам видно, что в опромышленных хозяйствах в целом за охотничий сезон проводится умеренное изъятие животных всех возрастных групп, что не оказывает отрицательного влияния на структуру, поэтому численность находится в фазе роста.

В те годы в течение промыслового сезона добывалось: в сентябре – около 20,0%, октябре – 40,0%, ноябре – 30,0%, декабре – 10,0% от общего количества добываемых в Беларуси животных [1, 2].

В настоящее время Беларусь преодолела период депрессии численности большинства видов охотничьих животных, наступившей в середине 1990-х гг.: популяции ряда видов восстановились, а отдельных значительно увеличились. Вместе с тем численность таких видов охотничьих животных как заяц, белка, ондатра, норка продолжает снижаться. С постоянно возрастающей численностью всех видов копытных животных (зубр, лось, олень, косуля) возрастает угроза возникновения эпизоотий – вспышки инфекционных болезней среди популяций охотничьих животных и массовой их гибели. Кроме того, воздействие на окружающую среду, как человеческого фактора, так и техногенных катастроф во многом могут повлиять на эпизоотическую ситуацию среди диких животных.

В настоящее время в Беларуси все большее значение уделяется ведению охотничьего хозяйства, как ввиду экономической деятельности, связанному с охраной, воспроизводством и рациональным использованием охотничьих ресурсов. Одним из таких видов охотничьего ресурса и является олень благородный [3, 4].

Олень благородный (*Cervus elaphus*), парнокопытное млекопитающее семейства оленей имеет много подвидов, ранее считавшихся самостоятельными видами, и отличающихся строением и длиной тела, рогов, а также деталями окраски (европейский олень, марал, изюбрь, вапити, тугайный олень, кашмирский олень). Благородный олень распространен в Европе (исключая северо-восток), Азии (исключая север), умеренном поясе Северной Америки и в Северной Африке, акклиматизирован в Австралии, Новой Зеландии и Южной Америке. Он обитает главным образом в широколиственных, таежных и субтропических лесах, где придерживается вырубок и полян с молодым подростом и богатым травостоем; поднимается в горы до альпийского пояса.

В разных частях ареала олени отличаются своими размерами: в Сибири они могут иметь высоту в холке более 1,5 м и достигать веса 340 кг, а в Средней Азии олени имеют высоту 60–80 см и весят не более 70–100 кг. У самца ветвистые рога, летний мех животных без пятен.

Благородный олень держится группами. Стадо обычно в 3–6 голов состоит из самки и ее потомства за несколько лет. Самцы большую часть времени проводят в одиночестве или формируют небольшие группы. Иногда образуются зимние стада до двадцати и более голов. На равнинах олени оседлы, зимой совершают лишь небольшие перемещения на малоснежные участки и летом меняют пастбища. В горах животные больше мигрируют в поисках пищи.

Корма разнообразны. Там, где зима малоснежная, травянистая растительность круглый год имеет большое значение в питании оленей. Наибольшую роль в рационе играют злаки, особенно весной и в начале лета, а также ветви и листва деревьев, чаще древесно-кустарниковых растений. Нередко олени питаются желудями, орехами и грибами. В большинстве мест посещают водные и сухие солонцы, где лижут выходы соли, грызут землю или лед, богатый минеральными удобрениями. Большинство видов летом пасется утром и под вечер (тугайский олень – ночью), а зимой олени пасутся большую часть суток.

Чаще олени сбрасывают рога в марте–апреле, некоторые виды – в январе–феврале. После сбрасывания сразу же начинают развиваться новые рога – панты, покрытые нежной кожей с бархатистой шерстью. Гон происходит осенью. Начало его обозначается громким, хриплым и отрывистым ревом самцов, чем-то напоминающим звуки трубы. В этот период самцы выбивают ногами землю (такие площадки называют точками). Во время гона между самцами часто вспыхивают конфликты, обычно являющиеся лишь демонстрацией силы. Самцы бьют рогами кусты и деревья, громко воют и вскоре расходятся. Однако известны случаи, когда в ходе серьезных столкновений обламывались рога, и один из бойцов получал серьезные травмы. Как правило, вокруг самца собирается гарем из 2–3 самок, иногда их число доходит до 20. Беременность длится 8,5 месяцев, родится один, в исключительных случаях два олененка, которые долгое время не расстаются с матерью [5, 6, 7].

Постановка задачи

При проведении настоящих исследований в качестве основной задачи присутствовал момент изучения и разработки оптимальных условий акклиматизации, с дальнейшим вселением приобретенных в соседнем с Республикой Беларусь государстве партии благородных оленей. Одновременно с этим одним из критериев успеха при данном мероприятии являлось карантинирование завезенных животных с целью обеспечения эпизоотического благополучия в стране.

В 2013 году на территории Беларуси зарегистрировали Африканскую чуму свиней. В результате, на правительственном уровне были приняты беспрецедентные мероприятия, одним из которых явилось полномасштабная работа по депопуляции дикого кабана. Они должны были быть завершены к 1 марта 2014 года. Популяция кабана в Беларуси на начало весны 2013 года составляла около 80 400 особей (табл. 1).

В результате резкого снижения численности кабана экономическое состояние охотничьего хозяйства в республике несколько ухудшилось. Вовлечение такого вида как благородный олень в охотохозяйственную деятельность явилось наиболее рациональным мероприятием, тем более что в Беларуси уже имелся опыт по акклиматизации этого вида ресурсной фауны. Одновременно с этим несколько снизится охотничья нагрузка на такие виды как лось и косуля.

В процессе акклиматизации вид животных приспособливается не к одному фактору внешней среды, а к их комплексу, многие из этих факторов для региона Беларуси изменяются несущественно по сравнению с изменениями в пределах ареала оленя, что и являлось залогом успеха данного мероприятия.

Таблица 1

Численность основных видов ресурсных видов животных в охотничьих угодьях Беларуси в 2010–2014 гг., и добыча по данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь

Вид животного	Год									
	2010		2011		2012		2013		2014	
	Численность, тыс. особей	Добыча, особей	Численность, тыс. особей	Добыча, особей	Численность, тыс. особей	Добыча, особей	Численность, тыс. особей	Добыча, особей	Численность, тыс. особей	Добыча, особей
Лось	22,7	1595	24,3	1886	26,7	2356	27,9	2526	30,14	3278
Олень благородный	9,4	706	10,0	714	10,6	826	12,2	893	13,6	1149
Косуля	69,7	5787	69,5	6125	72,5	6614	74,0	6223	71,5	6615
Кабан	69,1	25 949	74,0	28 500	77,2	29 708	80,4	48 074	8,55	30 638

Как видно из табл. 1, в охотничьих хозяйствах Беларуси, по причине снижения численности дикого кабана с 80,4 тысяч особей до 8,55 тысяч возникла необходимость увеличения популяции благородного оленя. Однако это крайне ответственное мероприятие и, несмотря на то, что указанный вид имел достаточно широкое распространение на территории Республики Беларусь перед работниками охотничьего и лесного хозяйств стояли сложные задачи. В данной ситуации речь шла о вселе-

нии высокоорганизованных животных и создании им уютных условий обитания, включающие не только обеспечение кормовой базы, но и снижения до минимума фактора беспокойства [8, 9].

Вселение всех без исключения видов животных преследует главную цель – не навредить самим животным, которых вселяют, но и тем (не обязательно того же вида) которые уже обитают в данной местности. И этим принципом является недопущения распространения инфекционных заболеваний. В понятие инфекционные болезни мы включаем заболевания вирусной, бактериальной и инвазионной этиологии (причины).

Ввоз диких животных регламентируют «Ветеринарные требования при импорте в Республику Беларусь диких, зоопарковых и цирковых животных», в которых говорится, что к ввозу в республику допускаются клинически здоровые дикие животные (млекопитающие, птицы, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся), другие (паукообразные, насекомые и т. д.), происходящие из зоопарков, ферм, цирков, коллекций и т. д. (именуемые в дальнейшем «хозяйства») и местности или акватории, свободных от заразных болезней животных.

Кроме всего, существует «Приложение» к Решению Коллегии Евразийской экономической комиссии от 10 сентября 2013 г. № 192 с изменениями вносимые в Единые ветеринарные (ветеринарно-санитарные) требования, предъявляемые к товарам, подлежащим ветеринарному контролю (надзору) где приводится что, к ввозу на таможенную территорию Таможенного союза и (или) перемещению между Сторонами допускаются клинически здоровые дикие животные (млекопитающие, птицы, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся), происходящие с территорий или акваторий, свободных от заразных болезней животных:

для животных всех видов (кроме птиц):

- ящура – в течение последних 12 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;
- чумы крупного рогатого скота – в течение последних 24 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;
- африканской чумы свиней – в течение последних 36 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;
- блутанга – в течение последних 24 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;
- лептоспироза – в течение последних 3 месяцев на территории хозяйства;
- сибирской язвы – в течение последних 20 дней на территории хозяйства;
- бешенства – в течение последних 6 месяцев на территории хозяйства;
- вирусной геморрагической лихорадки – в течение последних 6 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;

для крупных парнокопытных (зубров, буйволов, антилоп, бизонов, оленей и др.):

- губкообразной энцефалопатии крупного рогатого скота и скрепи овец – на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией с незначительным или контролируемым риском по указанной болезни в соответствии с рекомендациями Кодекса МЭБ;
- заразного узелкового дерматита (бугорчатки) крупного рогатого скота – в течение последних 36 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;
- лихорадки долины Рифт – в течение последних 48 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;
- чумы мелких жвачных – в течение последних 36 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;
- эпизоотической геморрагической болезни оленей, болезни Акабана, везикулярного стоматита, контагиозной плевропневмонии – в течение последних 24 месяцев на территории страны или административной территории в соответствии с регионализацией;
- болезни Ауески (псевдобешенства) – в течение последних 12 месяцев на территории хозяйства;
- бруцеллеза, туберкулеза, паратуберкулеза – в течение последних 6 месяцев на территории хозяйства;
- энзоотического лейкоза, вирусной диареи – в течение последних 12 месяцев на территории хозяйства.

Появление и распространение заразных болезней животных на ранее благополучных территориях всегда чревато отрицательными последствиями для животноводства и дикой фауны страны. Заболеваемость и гибель неиммунных к этим болезням животных в первичных очагах может быть значительной. Занос возбудителя болезни зооантропонозного характера создает угрозу заболевания людей. Возникновение любой из этих болезней может привести к нарушению экономики страны, ее хозяйственных и культурных связей.

Ветеринарной службе не всегда удается быстро распознавать такие болезни. Ряд болезней относится к группе А (по номенклатуре и классификации МЭБ, 1964 г.), при возникновении которых

обязательно немедленное оповещение Международного эпизоотического бюро. Отсюда вытекают и последующие экономические и другие санкции. К группе А относятся ящур, чума крупного рогатого скота, контагиозная плевропневмония крупного рогатого скота, нодулярный дерматит (бугорчатка) крупного рогатого скота, катаральная лихорадка (синий язык) овец, африканская чума лошадей, сап, африканская чума свиней, инфекционный энцефаломиелит свиней, везикулярная болезнь свиней, грипп птиц, бешенство и др. Недопущение возникновения и распространения этой группы болезней – предмет особой заботы ветеринарной службы.

В целях недопущения проникновения на территорию нашей страны карантинных и малоизвестных инфекционных болезней осуществляется постоянный контроль на всех участках перемещения животных, продуктов и сырья животного происхождения. Особое внимание уделяется эпизоотической обстановке стран-поставщиков и учитывается ее изменение. Эти мероприятия проводят высококвалифицированные специалисты, ветеринарные врачи – эпизоотологи.

Достаточно часто олени восприимчивы к инвазионным болезням – гельминтозам и энтомозам. Демидов Н. В. (1987 г.) указывал на то, что из гельминтозов оленей наиболее часто регистрируются парамфистоматозы, эхинококкоз, цистицеркозы, мониезиозы, диктиокаулез.

Флёров К. К. (1953 г.) на первое место болезней оленей ставит поражения их (всех, кроме лани) оводами, слепнями, комарами, гнусом и клещами. Этот же автор указывает на частую зараженность пятнистых оленей пироплазмозом.

Настоятельной мерой, несмотря на имеющиеся трудности, является профилактическое карантинирование животных на контрольных пограничных пунктах, в местах ввоза из-за рубежа. Нельзя вводить животных непосредственно в хозяйство без предварительного карантинирования на пограничном пункте. В условиях последнего легче организовать наблюдение, осмотр животных, провести исследования и в случае необходимости принять меры к ликвидации болезни. При ряде инфекций пока еще отсутствуют диагностические средства. Кроме того, не всякое инфекционное состояние животного можно выявить с помощью реакций. Выдерживание животных в карантине является определенной гарантией, так как за столь длительный срок (30 дней) большинство малоизвестных болезней могут себя проявить.

Перевозка животных для карантинирования в хозяйстве всегда чревата опасными последствиями – возможно распространение возбудителей болезней по пути следования. За ввезенными животными следует наблюдать и в хозяйствах, куда они поставлены, так как признаки некоторых болезней могут проявиться в более отдаленные сроки (медленные инфекции).

Результаты и их обсуждение

В настоящее время в Беларуси имеется лишь 8–10 относительно крупных (300–400 особей) и средних (200–300 особей) популяций, остальные – малочисленные, неустойчивые и не жизнестойкие. Экономическая отдача от использования ресурсов таких малых популяций не отвечает современным требованиям. Общая численность оленя в нашей стране невысокая – около 14 тыс. особей. Как известно, добыча трофейных самцов экономически весьма прибыльное мероприятие, в связи с этим деятельность охотничьих хозяйств должна быть направлена на развитие индустрии охотничьего туризма и проведение гарантированной охоты.

Принципиальное практическое значение приобретает процедура совершенствования и конкретизации отбора и обследования участков территорий, а также методики оценки степени их экологической благоприятности для вселения оленя и создания жизнеспособных популяций.

В современных интенсивных охотничьих хозяйствах Беларуси все чаще обращаются к полувольному содержанию охотничьих зверей и птиц с целью их разведения и последующего использования для охоты, реализации, подпусков в охотничьи угодья.

Опыт Беларуси и зарубежных стран убедительно показал, что при реакклиматизации благородного оленя, как и других видов крупных растительноядных животных, очень важно завести как можно большее количество физически здоровых и генетически полноценных особей разного возраста и пола. Вселение малых по численности партий оленей в растянутые по времени сроки, особенно, если не проводится передержка их в вольере, не дает желаемого эффекта. На наш взгляд, целесообразно завозить не менее 40 оленей, причем можно их доставлять в два приема, то есть в первый год – 20 особей и столько же во второй год. Особое внимание следует уделить половозрастной структуре завозимых оленей. Неправильная структура негативно повлияет на темпы роста численности популяции. Например, при завозе только молодых оленей, преимущественно сеголеток с небольшим количеством двухлеток и неправильным соотношением самцов к самкам (1 к 10), приплод возможен только через 1,5–2 года.

Результативность реакклиматизации оленя во многом зависит от состояния в угодьях естественной кормовой базы. Поэтому вселению оленя должны предшествовать определение видового разнообразия растений и кормовой продуктивности угодий.

Правильный выбор участков территорий для вселения оленя и создания новых популяций имеет принципиальное тактическое и стратегическое значение, поскольку в этом потенциально заложены основы успешного формирования популяций и ее пространственного размещения. По ландшафтно-растительным условиям участки территории не должны быть сильно заболоченными, а в составе лесов – как можно большее представительство широколиственных (дуба, ясеня, клена) и мягколиственных (осинники и закустаренные ивой поймы рек) пород. При реакклиматизации оленей наиболее пригодны для них угодья с хорошо развитым травянистым покровом, подростом и подлеском, наличием лесных малых речек и ручьев. Эти требования обусловлены морфофизиологической и трофической адаптацией оленя, становление которого как вида происходило в средней полосе широколиственных лесов Европы.

При расселении оленя необходимо провести передержку (карантинирование) их в вольере. Передержка оленей в вольере является принципиально важным и обязательным мероприятием. Она позволяет: сохранить без потерь всех или почти всех завезенных оленей, выработать у них так называемое «чувство дома», образовать внутривольерные структурные группировки (семьи, стада), пройти начальный этап преадаптации к новым условиям жизни. Очень важно, что как раз этот период необходим для выявления инфекционных и инвазионных заболеваний [10, 11, 12].

Чрезмерная плотность животных в вольерах, как и в природе, недопустима. Когда группировки превышают емкость угодий, местообитания быстро деградируют и физическое состояние стада ухудшается. Минимальные нормы площади для содержания одного животного позволяют рассчитывать максимальное количество, которое можно содержать в конкретном вольере. В вольере для передержки оленя благородного должно приходиться не менее 0,25 га площади на одного животного.

В 2015 году сектор охотоведения и ресурсов охотничьей фауны провел научную работу в целях разработки биологического обоснования вселения оленя благородного в охотничьи угодья 12 районных организационных структур РГОО «БООР». На основе охотустроительных данных были произведены расчеты территории обитания, бонитет охотничьих угодий, определены оптимальная плотность и оптимальная численность оленей по каждому охотхозяйству (табл. 2).

Таблица 2

Расчетная территория, бонитировка охотугодий, оптимальная численность оленя и площадь вольеров для передержки

Учреждение	Расчетная территория обитания, тыс. га	Класс бонитета	Оптимальная плотность, ос./тыс. га	Оптимальная численность, особей	Площадь вольера, га
Барановичская РОС РГОО «БООР»	37	11	15	555	10
Вилейская РОС РГОО «БООР»	48,9	1У	5	245	9,3
Гомельская РОС РГОО «БООР»	68	11	15	1020	15,2
Ивановская РОС РГОО «БООР»	38	11	15	570	9
Кировская РОС РГОО «БООР»	38,9	111	10	390	12
Лидская РОС РГОО «БООР»	30	11	15	450	10
Лиозненская РОС РГОО «БООР»	9,6	1У	5	50	10
Пинская РОС РГОО «БООР»	36,5	11	15	550	10
Рогачевская РОС РГОО «БООР»	67,8	111	10	680	15,1
Ушачская РОС РГОО «БООР»	43	1У	5	215	9,2
Шкловская РОС РГОО «БООР»	18	1У	5	90	10
Щучинская РОС РГОО «БООР»	28,1	11	15	420	10

В осенне-зимний период рекомендуется в каждое охотхозяйство завести по 30 оленей, в их числе взрослых: на 1 самца – 3–6 самок молодняка: на одного самца – 2–3 самки.

Территории вольеров должны быть оборудованы биотехническими и охотохозяйственными сооружениями, обеспечивающими жизнедеятельность диких животных (непересыхающие водоемы, подкормочные площадки, кормушки, солонцы, и т. д.).

Ограждение вольеров предусмотрено из металлической оцинкованной сетки сечением 150×150×3 мм, высота ограждения 2,5 м, длина пролета 7,0 м. Столбы ограждения – металлические, бетонные, деревянные. Въездные ворота – распашные, металлические, ширина ворот 4,5 м.

Для водопоя и купания диких животных при отсутствии естественных водоемов предусмотрено строительство прудов-копанок.

Для предупреждения заноса на территорию вольера возбудителей различных заболеваний на въезде перед воротами предусмотрено устройство карантинных ям глубиной 0,6 м.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что природные условия охотогодий обследованных учреждений РГОО «БООР» вполне пригодны для вселения благородного оленя. Это обусловлено, в первую очередь, наличием на территориях охотхозяйств широкого спектра кормов для данного вида животных и большим их запасом в осенне-зимний период, а также наличием экологически емких участков для обитания и воспроизводства благородного оленя. Лесные экосистемы характеризуются большим разнообразием типов леса по видовому составу, возрастной структуре и ландшафтно-почвенному разнообразию. Редки крупные хищники, которые являются основными врагами данного вида животных.

Процесс карантинирования является обязательным условием при ввозе и акклиматизации благородных оленей, конечной целью которого является вселение животных в новое для него место обитания и профилактика инфекционных заболеваний.

Список литературы

1. Дунин, В. Ф. Расселение благородного оленя и состояние его реакклиматизированных популяций в Беларуси // Беловежская пуца на рубеже третьего тысячелетия / Материалы научно-практической конференции, посвященной 60-летию со дня образования Государственного заповедника «Беловежская пуца» (22–24 декабря 1999 г., п. Каменюки, Брестская обл.). – С. 285–286.
2. Козло, П. Г. Научно-методические рекомендации. «Отбор участков территорий и оценка степени благоприятности их экологических условий для создания новых популяций оленя благородного в Беларуси. – Минск, 2007 г.
3. Лях, Ю. Г. Животный мир // Ресурсы охотничьей фауны. Экологический бюллетень 2012. Минск, 2013. – С. 170–172.
4. Козорез, А. И. Влияние структуры охотничьих угодий на территориальное распределение благородного оленя в период гона. – Минск: БГТУ, 2010. – С. 129–133.
5. Тишкевич, В. Е. Лесные охотничьи угодья как среда обитания парнокопытных и зайцеобразных // Лесное и охотничье хозяйство. – 2005, № 1.
6. Савицкий, Б. П. Млекопитающие Беларуси / Б. П. Савицкий [и др.]. – Минск, 2005.
7. Литвинов, В. Ф. Олень благородный: монография. – Витебск: ВГАВМ, 2012. – 204 с.
8. Быкова, Н. К., Лях, Ю. Г., Пальчевская, К. И., Ермолаева, И. А., Янута, Г. Г. Животный мир // Ресурсы охотничьей фауны. Экологический бюллетень 2013. – Минск, 2014. – С. 270–280.
9. Романов, В. С., Козло, П. Г., Падайга, В. И. Охотоведение. – Минск: БГТУ, 2005. – 470 с.
10. Литвинов, В. Ф., Карасев, Н. Ф., Пенькевич, В. А.. Болезни диких животных. – Минск: БГТУ, 2002. – 306 с.
11. Демидов, Н. В. Гельминтозы животных. – М.: Агропромиздат, 1987. – С.76.
12. Лях, Ю. Г., Морозов, А. В. Комплексные рекомендации по предупреждению и минимизации влияния инфекционных заболеваний в охотничьих хозяйствах Республики Беларусь // Минск: «Право и экономика», 2013. – 100 с.

Y. G. Liakh

THE QUARANTINE MEASURES SIGNIFICANCE OF RED DEER RE-ACCLIMATIZATION IN BELARUS

The historical questions of red deer spread on the territory of Belarus are discussed in the article. The red deer characteristic as the resource species, and its value in country hunting farms are shown. Determine The value of quarantine measures in the prevention of infectious and parasitic diseases at the hunting area in the Republic of Belarus is determined. The analysis of the risks and consequences of non-compliance with conditions overexposure of animals in cages are shown.

Н. В. Николаева, К. Г. Гаркава

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ ДРЕВЕСНЫХ АЛЛЕРГЕНОВ

В современном мире пыльцу применяют в разных исследованиях: от изучения биологических особенностей до практического использования. В данной статье на основе литературных данных проведен анализ древесных видов с аллергенной пыльцой с разных ареалов. Рассмотрен исторический аспект исследований пыльцевой аллергии. Указанная систематизация знаний может быть использована для создания новых баз данных об особенностях пыльцы и способах ее изучения для более точного описания видов.

➤ **Ключевые слова:** аллергия, пыльца, древесные виды, история, исследования.

Ветроопыляемые растения являются мощным аллергенным источником [1, 2]. Уровень экспрессии пыльцевых аллергенов может находиться под воздействием факторов окружающей среды, особенностей созревания, климата и характеристик некоторых видов растений, что в свою очередь имеет влияние на общую аллергенность [2].

Медики называют аллергию «чумой III тысячелетия», болезнью цивилизации. Согласно статистике, сейчас в мире от одной из форм аллергии страдает от 20% до 40% населения [6]. Поллиноз (от греч. *pollen* – пыльца) – пыльцевая аллергия, сезонный ринит, «сенная лихорадка»; это заболевание, вызванное повышенной чувствительностью (сенсibilизацией) организма к пыльце различных растений. Поллиноз является заболеванием, что проходит по механизму аллергенных реакций первого типа [1]. По данным ВОЗ, распространенность поллиноза в разных странах колеблется от 5 до 30%. В Украине заболеваемость поллинозом недостаточно изучена, а во многих регионах вообще не исследовалась. Основными проявлениями поллиноза являются сезонный аллергический ринит, сезонный конъюнктивит, пыльцевая бронхиальная астма [1, 4].

Цель данного сообщения – проанализировать способы исследований аллергенной пыльцы, изучить принадлежность и распространенность древесных видов с аллергенными свойствами пыльцы.

Исследования особенностей аллергии начались еще в древние времена и продолжают до сих пор. Изучение аллергии на современном уровне датируется не раньше XIX ст. [8]. Estelle и Simons (1994 г.) в работе «Предки аллергии» разделяют историю аллергических исследований на несколько этапов (табл. 1).

Таблица 1

Исторические аспекты аллергических исследований

Период	Направление в исследованиях
Китай (III тыс. – 250 г. до н. э.)	Использование эфедры для лечения астмы
Египет (III тыс. – 1200 г. до н. э.)	Применение ингаляций в лечении астмы
Греко-Римский период (I тыс. до н. э. – 200 г. н. э.)	Учение об астме и четырех жидкостях
Палестина (III тыс. до н.э. – 700 г. н. э.)	Законы о предупреждении болезни и чихания
Индия (800 г. до н.э. – 500 г. н. э.)	Курение как способ лечения астмы
Северная и Южная Америка (1600 г. н. э.)	Использование растений в религиозных ритуалах для лечения астмы
Средневековье (476 г. – 1400 гг.)	Ориентация на работы Гиппократ и Галена, внимание направлено на облегчение симптомов аллергии
Ренессанс (1300–1700 гг.)	Изучение внешних причин астмы
Новое время (от XVI до XX ст.)	Исследование сезонной аллергии, становление ал-лергологии как науки
Новейшее время (от XX ст. и до наших дней)	Современная эпоха аллергии

Впервые интерес к аллергическим заболеваниям возник около 3000 лет до н. э. (Китай, Египет). Уже тогда появились первые документальные упоминания о дыхательных расстройствах (папирус Эбнера, Каннон внутренней медицины). В период Греко-Римской цивилизации Гиппократ (460–377 гг.

до н. э.) показал взаимосвязь между респираторными заболеваниями и окружающей средой, а Плиний Старший (23–79 гг. н. э.) определил пыльцу, как источник дыхательной недостаточности. В Средневековье Разес (865–932 гг.) описал симптомы сезонного аллергического ринита, который тогда именовался, как «розовый жар». В эпоху Ренессанса продолжилось исследование этого вопроса, Георгиос Агрикола (1494–1555 гг.) был первым, кто предположил, что загрязнение окружающей среды может привести к заболеваниям легких [8].

Наиболее активное развитие изучения пыльцевой аллергии относится к периоду от XVI до XX в. За этот промежуток времени прослеживается развитие актуальности исследований патологии и лечение поллинозов. Леонардо Баттало (1565 г.) был первым европейцем, который описал симптомы сезонной аллергии и назвал ее «розовый катар». Неемия Грю (1700 г.) начал изучать пыльцу разных видов растений. Доктор Л. Силич (1889 г.) впервые в России сделал заявление о поллинозе. Клеменс фон Пирке в 1906 г. пришел к выводу, что иммунная система способна продуцировать антитела и ввел термин «аллергия», а Альфред Вольф-Ейснер выдвинул утверждение, что сезонный аллергический ринит – это гиперчувствительная реакция.

Начиная с 1900-х гг. и до наших дней ведущую роль в симптоматике астмы отводят сезонному аллергическому риниту. Многие исследования направлены на иммунизацию, идентификацию иммуноглобулинов антител, механическую стимуляцию аллергии пыльцевыми экстрактами [8].

Древесные аллергены продуцируют большое количество пыльцы: голосеменные деревья (вечнозеленые) имеют относительно мягкую пыльцу, которая склонна к осыпанию прямо вниз, а, например, пыльца кипариса, можжевельника, кедра является наиболее проблемной среди всех аллергенных деревьев. Среди покрытосеменных лиственных деревьев важными аллергенами являются береза, ольха, бук, вяз, орешник [6, 7]. Сегодня известно около 700 видов аллергенных растений. В табл. 2 представлены древесные растения, которые провоцируют аллергию согласно тестированию Immuno CAP® (*in vitro* тест для измерения IgE антител к аллергенам). Наиболее используемый тест, как «золотой стандарт» (технология диагностики аллергии от «Pharmacia Diagnostics AB»).

Таблица 2

Виды древесных растений с аллергенными свойствами пыльцы

Вид	Ареал		Авторы
	В мире	В Украине	
<i>Cupressus arizonica</i> (Greene), <i>C. sempervirens</i> L.	Америка, Средиземноморье	Южные регионы	D'Amato et al., 2007
<i>Juniperus scopulorum</i> Sarg., <i>J. virginiana</i> L.	Северное полушарие (от полярной зоны до горных тропиков); Южная Америка, Европа, Европейская часть Европы	Вся территория	D'Amato et al., 2007
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	Бореальные и Средиземноморские регионы	Вся территория, культивируется в ботанических садах, парках	Савицкий В. Д. и др., 2002
<i>Pinus strobus</i> L.	Умеренные и субтропические области, восточные районы Северной Америки	Культивируется в ботанических садах, парках	Савицкий В.Д. и др., 2002
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	Северное полушарие	Болота, вдоль берегов, мокрые луга, поляны, опушки, Карпаты, Лесостепь	Esch et al., 2001
<i>Betula pendula</i> Roth.	Европа, Северная Америка, юго-западная Азия	Лесостепь, Степь	D'Amato et al., 2007
<i>Carpinus betulus</i> L.	Умеренные районы (восток Азии, Китай, Европа, Северная Америка)	Широколиственные и смешанные леса – Карпаты, Лесостепь, Крым (верхний и средний пояс)	D'Amato et al., 2007
<i>Corylus avellana</i> L.	Умеренные районы	Смешанные и широколиственные леса	D'Amato et al., 2007
<i>Castanea sativa</i> Mill.	Европа, Азия, Америка, Австралия, Новая Зеландия	Сады, парки	D'Amato et al., 2007
<i>Quercus robur</i> L., <i>Q. petraea</i> (Matt.) Liebl.	Умеренная зона	Вся территория	Esch et al., 2001
<i>Juglans regia</i> L.	Европа, Азия	Вся территория	Esch et al., 2001

Вид	Ареал		Авторы
	В мире	В Украине	
<i>Populus deltoids</i> March.	Северная Америка	Вся территория – около дорог, в посадках	Esch et al., 2001
<i>Salix purpurea</i> L., <i>S. alba</i> L., <i>S. fragilis</i> L., <i>S. amygdalina</i> L.	Умеренная зона Северного полушария	Вся территория	Савицкий В.Д. и др., 2002
<i>Tilia cordata</i> Mill.	Европа, Северная Америка, юг Африки, Новая Зеландия	Вся территория	Савицкий В.Д. и др., 2002
<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	Западная и Восточная Азия, Афганистан, юг России, Казахстан, Турция	Вся территория	Sastre et al., 2004
<i>Celtis australis</i> L., <i>C. galabrata</i> Steven ex Planch, <i>C. tournefortii</i> Lam.	Умеренные районы Северного полушария, Восточная Азия, юг и центр Африки	Вся территория (сады, парки)	Zarafshar et al., 2010
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Европа, Азия, Австралия, Африка, Мексика	Вся территория	Malayeri et al., 2011
<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	Западная и Восточная Европа	Хвойные, широколиственные леса, поляны – Карпаты, Расточье, Правобережное Полесье и Лесостепь	Graves et al., 2010
<i>Acer negundo</i> L.	Европа, Северная Америка	Вся территория	Esch et al., 2001
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Южная и Восточная Европа	Вся территория	Weryszko-Chmielewska et al., 2012
<i>Platanus hispanica</i> Mill. ex Munchh.	Северное полушарие	Сады, парки	D'Amato et al., 2007
<i>Sambucus nigra</i> L.	Скандинавский полуостров, Средиземноморье, Северная Америка	Вся территория (преимущественно Правобережная Лесостепь)	Tamas et al., 2009
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Европа, Скандинавия, Иберия, Азия, Северная Америка, Новая Зеландия	Лесные районы	D'Amato et al., 2007
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Европа, Азия, Австрия, север Африки	Вся территория	D'Amato et al., 2007
<i>Olea europaeae</i> (Wall. ex G. Don) Cif.	Африка, Средиземноморье, Азия	Сады, парки	D'Amato et al., 2007; Савицкий В.Д. и др., 2002

В Украине исследования аллергенной пыльцы проводились врачами-аллергологами в Киеве (1967 г.), Одессе (1977–1978 гг.), Луганской области (1981 г.). Более четкую картину палинологических исследований смог предоставить Р. Я. Арап (1967–1968 гг.). На данный момент изучением аллергенной пыльцы занимаются палинологи во Львове (1999 г.), Виннице (1998–2000 гг.), Каневе (2000 г.), Киеве (1991–2000 гг.) [4]. Указан качественный состав аэропалинопроб – пыльца некоторых видов (*Acer*, *Aesculus*, *Alnus*, *Betula*, *Carpinus*, *Fagus*, *Fraxinus*, *Larix*, *Morus*, *Juglans*, *Picea*, *Pinus*, *Populus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Vixus*, *Corylus*, *Forsythia*, *Lonicera*, *Salix*, *Syringa*) и семейств (*Caprifoliaceae*, *Cupressaceae*, *Elaeagnaceae*, *Ericaceae*, *Oleaceae*) (схема 1).

При совместном сотрудничестве польских и украинских ученых был проведен пыльцевой анализ аллергенных растений Европы из родов *Alnus*, *Corylus*, *Betula*, *Artemisia*, *Ambrosia*, *Taxus*, *Fagus*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Olea*, *Salix*, *Urtica/Parietaria*, *Platanus*, *Aesculus*, *Castanea*, *Rumex*, *Plantago*, *Ulmus*, *Juglans*, *Sambucus*, принадлежащим семействам *Chenopodiaceae/Amaranthaceae*, *Cupressaceae*, *Poaceae*, *Asteraceae* [1].

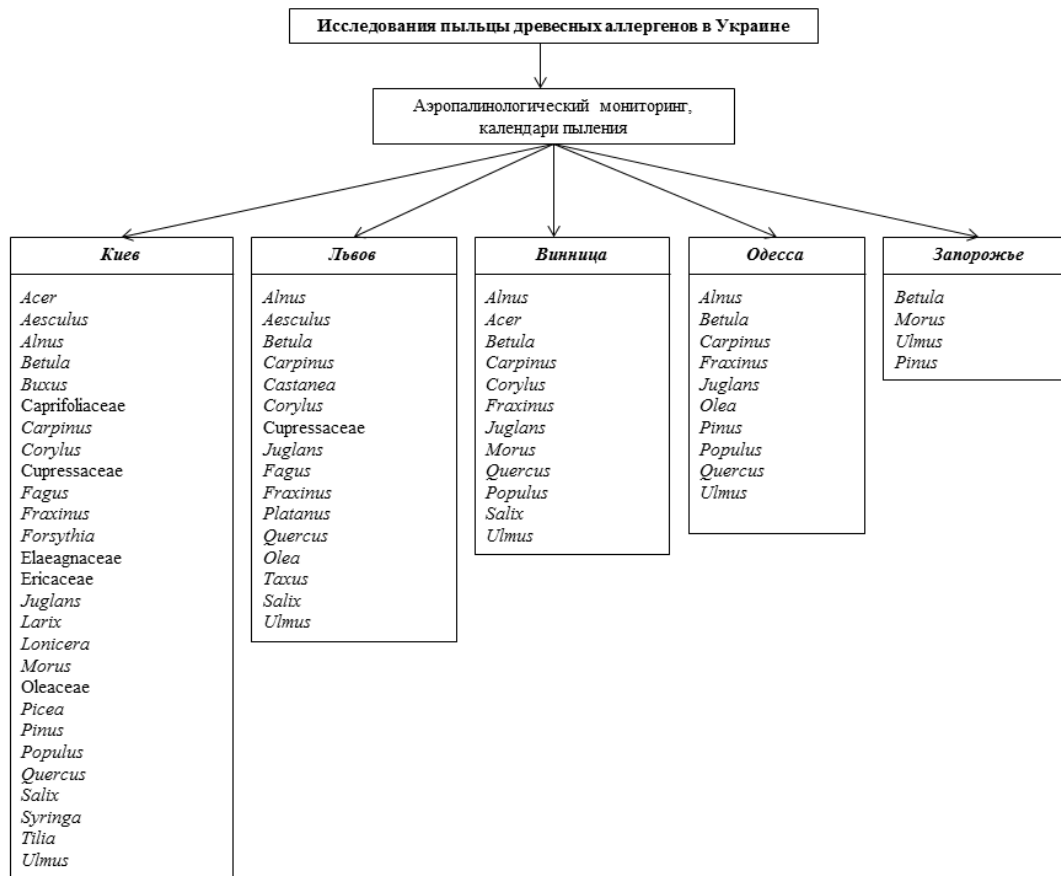


Схема 1 – Аэропаллинологические исследования на территории Украины

Сегодня в мире существует значительное количество аэробиологических исследований, но еще недостаточно сведений по изучению морфологии и биологической активности пыльцы. Например, исследования, проведенные в Новой Зеландии, ориентированы на аэробиологический мониторинг урбанизированных территорий, а также определение таксономической принадлежности и сезонной изменчивости пыльцы [9].

Китайские ученые занялись изучением аллергенной пыльцы с 1960-х гг. в городах Шанхай, Гуанчжоу, Наньчан, Синьцзян, Тяньцзынь, Пекин. Определены главные пыльцевые аллергены и строки палинации таких видов, как *Plantanus*, *Ulmus*, *Pterocarya*, *Casuariana*, *Salix*, *Populus* и семейств – *Cupressaceae*, *Moraceae*, *Pinaceae* [10].

Одним из направлений турецких ученых было исследование взаимосвязи между количеством пыльцы и количеством аллергенов, также определения аллергенных свойств пыльцы некоторых видов *Pinus*, *Quercus*, *Platanus*, *Salix*, *Juglans*, *Fraxinus* и семейств *Moraceae*, *Amaranthaceae*, *Cupressaceae*, *Urticaceae* [5].

Аэробиологические исследования Северной Америки сосредоточены, главным образом, на определении видовой принадлежности и аллергенных свойств пыльцы.

В России изучают межсезонные колебания пыльцевой продуктивности раннецветущих древесных таксонов: *Acer*, *Alnus*, *Betula*, *Corylus*, *Fraxinus*, *Populus*, *Salix*, *Ulmus*. Также актуален анализ распространённости основных представителей аллергенной флоры и пыльцевой состав Центрально-Казахстанского региона, исследования пыльцы, как биоиндикатора антропогенного загрязнения среды в юго-восточной части Иссыкульской котловины. Проведен анализ пыльцевого состава атмосферы г. Ишимбая, где из 45 таксонов 24 имели аллергенные свойства, большое внимание уделено качественному и количественному анализу пыльцевых дождей [2, 3].

Если рассматривать способы исследования пыльцы древесных видов в географическом аспекте, то следует отметить территориальную принадлежность направлений:

1) Европа – аэробиологический мониторинг, создание международной аэробиологической сети, составление пыльцевых календарей, изучение насыщенности атмосферы пыльцой, ее распространенность по географическим регионам, определение аллергенного эффекта.

2) Азия – изучение пыльцевой флоры и пыльцевых дождей для профилактики и лечения поллинозов.

- 3) Северная Америка – определение аллергенных свойств пыльцы.
- 4) Южная Америка – исследование аэрозолей (биочастиц) и аэроаллергенов.
- 5) Австралия – изучение возбудителей аллергического ринита.

Среди исследований пыльцы с аллергенными свойствами следует отметить экологический аспект, т. е. при попадании пыльцы в воздушную сферу возникают изменения типов апертур, скульптуры и формы, формирование конгломератов, нарушение целостности оболочки. Кроме того, поврежденная пыльца может образовывать конгломераты (две пылинки, одна из которых нормально развита, а вторая – лишена таксономических признаков). Между разными видами растений существуют отличия среди нормальных и аномальных пыльцевых зерен. При этом доказано, что присутствуют отличия и характеристики пыльцевых зерен с учетом их аномальности [2]. Это в свою очередь приводит к выводу, что аллергенные заболевания вызывает не только нативная, но и морфологически измененная пыльца. Потому анализ морфологии пыльцевых зерен разных видов растений можно рассматривать, как составляющую характеристику прогнозирования поллинозов и аллергической ситуации. Ранее морфология пыльцы, в основном, отождествлялась с ботаникой и палинологией. Основываясь на литературные данные, внимание следует акцентировать на идентификации пыльцы соответственно региону распространения и составлению систематизированных баз данных.

В совместной работе авторов статьи и ученых со Словацкого аграрного университета (г. Нитра) начато сотрудничество по изучению морфологических параметров пыльцы для создания баз данных и каталогов идентификации. Потому, что пыльца одного и того же вида в разных условиях формирования имеет морфологические и анатомические различия.

Выводы

В соответствии к литературным данным указан список растений с аллергенной пыльцой, а также их распространение в мире. Приведен хронологический обзор исследований аллергии – от первых упоминаний до современного состояния.

Во время обработки разных литературных источников, отмечено большое количество аэриобиологических исследований, но недостаточное количество информации о биологической активности пыльцы, которая поддается влиянию разных факторов, что в свою очередь характеризует пыльцу, как очень чувствительный компонент экобиосистемы.

Список литературы

1. Калинович, Н., Стах, А., Чернецький, М., Уруска, А., Новак, М., Шиманська, А. Порівняльна характеристика пилоквого опадy алергенних рослин у Великопольському регіоні (Польща) і Львові (Україна) // Біологічні студії. – 2007. – Т.1. – № 1. – С. 73–86.
2. Кобзарь, В. Н., Мейер, Н. Р., Харитоновна, Э. П. Структурная изменчивость пыльцы под действием антропогенных загрязнителей // Международный симпозиум по аэрозолям. – М., 1994. – С. 66–70.
3. Посевина, Ю. М., Северова, Е. Э., Иванов, Е. С. Межсезонная ритмика пыления раннецветущих древесных таксонов аэропалинологического спектра г. Рязани // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 2011. – № 4. – С. 48–54.
4. Савицкий, В. Д., Савицкая, Е. В. Экология и распространение пыльцы аллергенных растений в Украине // Астма та алергія. – 2002. – № 2. – С. 17–20.
5. Bıcakcı, R., Koc, D., Tatlıdıl, S., Benlioglu, O. N. Analysis of airborne pollen fall in usak, Turkey Adem // Pakistan Journal of Botany. – 2004. – Vol. 36. – № 4. – Pp. 711–717.
6. D'Amato, G., Cecchi, L., Bonini, S., Nunes, C., Annesi-Maesano, I., Behrendt, H., Liccardi, G., Popov, T., Cauwenberge, P. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe // Allergy. – 2007. – Vol. 62. – № 9. – Pp. 976–990.
7. Esch, R. E., Hartsell, C. J., Crenshaw, R., Jacobson, R. S. Common allergenic pollens, fungi, animals and arthropods // Clinical Reviews in Allergy and Immunology. – 2001. – Vol. 21. – Pp. 261–292.
8. Estelle, R., Simons, F. Ancestors of allergy. New York: Global Medical Communications, 1994.
9. Graves, M., Mangold, J., Jacobs, J. Biology, ecology and management of scotch broom (*Cytisus scoparius* L.). Montana state university: Extension, 2010. – 10 P.
10. Liu, Z. C., Song, J. J., Kong, X. L. A study on pollen allergens in China // Biomedical and environmental sciences. – 2010. – № 23. – Pp. 319–322.
11. Sastre, J., Lluch-Bernal, M., Bustillo, A. M. G., Carnes, J., Maranon, F., Casanovas, M., Fernandez-Caldas, E. Allergenicity and cross-reactivity of Russian olive pollen (*Eleagnus angustifolia*) // Allergy. – 2004. – Vol. 59. – Pp. 1181–1186.

12. Tamas, M., Pop, C., Martian, A., Barbu-Tudoran, L. Morphological Research on Indigenous Sambucus Species Pollen. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2009. – Vol. 37. – № 1. – Pp. 65–69.

13. Zarafshar, M., Akbarinia, M., Sattarian, A., Gerardus van der Maesen L.J. Pollen Morphology of Iranian Celtis (Celtidaceae – Ulmaceae) // Botanica serbica. – 2010. – Vol. 34. – № 2. – Pp. 145–149.

14. Walter, Dr., Lewis, H. Airborne and Allergenic Pollen of North America. – John Hopkins University Press, 1979. – 288 p.

15. Weryszko-Chmielewska, E., Tietze, M., Michońska, M. Ecological features of the flowers of *Aesculus hippocastanum* L. and characteristics of *Aesculus* L. pollen seasons under the conditions of central-eastern Poland // Acta agrobotanica. – 2012. – Vol. 65. – № 4. – Pp. 61–68.

N. V. Nikolaieva, K. G. Garkava

ANALYSIS RESEARCH THE PLANT ALLERGENS ACCORDING TO THE LITERATURE DATES

In today's world, the pollen used in different kinds of research—from the study of biology to practical use. In this article, was investigated the literature data wood species with allergenic pollen from different habitats according to the basis of analysis of. It was considered the historical aspect of studies pollen allergies. The ordering of the knowledge can be used to create new databases on pollen and kinds of investigation, as well as a more precise description of the species.

Е. М. Шпадарук¹, Р. М. Смолякова²

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

²*РНПЦ онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова, п. Лесной, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛЕТОЧНОЙ РЕАКТИВНОСТИ ГОМЕОСТАЗА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ, СТРАДАЮЩИХ РАКОМ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

В материалах статьи изложен анализ данных изменения показателей клеточной реактивности гомеостаза, а также параметров интоксикации организма пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, в ходе комбинированного лечения

➤ **Ключевые слова:** *рак поджелудочной железы, экзозависимая патология, гомеостаз, радиационное воздействие, тромбоциты, лейкоциты, лимфоциты, нейтрофилы, моноциты, лейкоцитарный индекс интоксикации по Я. Я. Кальф-Калифу, индекс сдвига лейкоцитов, индекс соотношения нейтрофилов и лимфоцитов, индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов.*

Введение

Известно, что онкологические заболевания относятся к группе экзозависимой патологии, в генезе которой определяющую роль играют мутационные события, обусловленные постоянно нарастающим мутационным давлением.

Рак поджелудочной железы является наиболее агрессивной злокачественной опухолью. Это подтверждают результаты радикального оперативного лечения [1].

В Республике Беларусь, как и во всем мире, отмечается неуклонный рост заболеваемости раком поджелудочной железы [2].

В настоящее время единственным радикальным лечением рака поджелудочной железы является хирургический метод. Однако выполнение радикальной операции оказывается возможным только у 15–20% пациентов, 5-летняя выживаемость после выполнения радикальной операции не превышает 19%, а общая выживаемость при раке головки поджелудочной железы не превышает 6% [3, 4]. По данным ряда авторов, применение лучевой терапии обеспечивает местнорегионарный контроль роста опухоли и увеличивает продолжительность жизни пациентов. Современная химиотерапия позволяет увеличить показатели выживаемости, а в сочетании с лучевым воздействием эффективно замедляет прогрессирование опухоли у пациентов, обеспечивая профилактику отдаленных метастазов [5].

Комбинированные и комплексные методы лечения онкологических пациентов предусматривают проведение неoadьювантной химио- и/или лучевой терапии, расширенных и комбинированных хирургических вмешательств, адьювантных видов воздействия. При выборе патогенетически обоснованной программы лечения необходимо учитывать не только функциональное состояние пациента, метаболические сдвиги, наличие паранеопластического синдрома, что непосредственно сказывается на определении тактики лечения и прогноза, но и особенности его генетического статуса, который в существенной степени определяет многие особенности организма, включая активность системы детоксикации. В настоящее время доказано системное воздействие злокачественной опухоли на организм-опухоленоситель, которое сопровождается клинически манифестирующим или пролонгированным развитием синдрома опухолевой интоксикации. По механизмам развития и клиническим признакам опухолевая интоксикация является примером воздействия местного процесса на все жизненно важные системы и органы обеспечения и регуляции обмена веществ.

Адаптационно-компенсаторные перестройки в организме пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, в процессе радиационного воздействия характеризуются увеличением клеточного пула неспецифической защиты и понижением иммунологической реактивности с активацией процессов гиперчувствительности немедленного типа.

Реализация эффекта комбинированного воздействия при радиочувствительности организма в посттерапевтическом периоде сопровождается повышением значений лейкоцитарного индекса интоксикации (ЛИИ по Кальф-Калифу), инициацией процессов неспецифической защиты и реакций гиперчувствительности немедленного типа, что характеризуется понижением уровня гематологического индекса соотношения лимфоцитов и эозинофилов. Биохимические сдвиги в организме пациентов с РПЖ, сопровождающиеся развитием синдрома эндогенной интоксикации, обуславливают преобладание в гемограмме популяции клеток неспецифической защиты над клеточным составом специфической защиты организма и сложное нарушение микрофагально-макрофагальной системы [6, 7].

У пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, состояние хронического дистресса и повышение уровня эндогенной интоксикации вызывают развитие вторичного иммунодефицита, проявлением которого является снижение гематологических показателей лимфоцитарно-гранулоцитарного индекса и параметра соотношения лимфоцитов и моноцитов.

Высокая информативность изучения динамики клеточной популяции позволяет использовать методы соотношения форменных элементов крови, а также может отражать или опосредовать индивидуальную радиочувствительность, снижая общую токсичность организма, способствует восстановлению организма. Таким образом, оценка токсического эффекта радиационного воздействия рассматривается как один из механизмов нарастания радиорезистентности [8].

Определение лейкоцитарного индекса интоксикации, характеризующего реакцию органов гемопозеза и иммуногенеза на инфекционно-токсическую агрессию и степень активизации процессов тканевого распада, является одним из эффективных методов оценки эндогенной интоксикации различного генеза [9].

Цель настоящего исследования – оценить изменение показателей клеточной реактивности гомеостаза и уровень радиационно-индуцированной интоксикации у пациентов с раком поджелудочной железы в ходе проведенного комбинированного лечения.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования послужили показатели клеточной реактивности гомеостаза 130 пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, получивших специальное лечение в РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова в 2005–2014 гг.

У пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, проводилось комбинированное лечение, которое включало предоперационную терапию, хирургическое вмешательство и послеоперационное воздействие.

Объем операции определялся с учетом степени распространенности опухолевого процесса. Радикальная резекция поджелудочной железы проведена 33 (25,4%) пациентам, в большинстве случаев преобладала гастропанкреатодуоденальная резекция. Паллиативное оперативное вмешательство выполнено в 76 (58,5%) случаях. У 16,1% пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, оперативное вмешательство носило диагностический характер.

В ходе исследования установлено, что паллиативное лечение рака поджелудочной железы проведено у 82 (63,1%) пациентов. Комбинированное лечение проводилось 11 (8,5%) пациентам по схеме: предоперационная лучевая терапия + хирургическое лечение + послеоперационная лучевая терапия на фоне цитостатической терапии. Адювантное лечение получили 54,6% пациентов с РПЖ по схеме: хирургическое лечение + послеоперационная терапия. У 50,8% (66) пациентов с РПЖ выполнена послеоперационная лучевая терапия. Суммарная очаговая доза облучения варьировала в пределах от 18 до 90 Гр.

При анализе тактики адъювантного лечения установлено, что 50,8% (66) пациентам с РПЖ выполнена лучевая послеоперационная терапия. Суммарная очаговая доза облучения варьировала в пределах от 18 до 90 Гр.

Гематологические показатели периферической крови: эритроциты, тромбоциты, лейкоциты определяли на анализаторе Hemacom 10 «SEAC».

Подсчет лейкоцитарной формулы выполняли на автоматическом анализаторе Pentra 120 «ABX» (Франция).

По данным лейкограммы рассчитывали интегральные показатели клеточной реактивности:

- лейкоцитарный индекс интоксикации (ЛИИ) по Я.Я. Кальф-Калифу;
- индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ);
- индекс соотношения нейтрофилов и лимфоцитов (ИСНЛ);
- индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов (ИСЛМ) [9, 10].

Результаты и их обсуждение

Оценка биологического эффекта перенесенного радиационного воздействия может быть осуществлена на основании биодозиметрического подхода, с помощью которого можно оценить и индивидуальную радиочувствительность пациента.

Опираясь на ранее разработанные методы цитологической дозиметрии [11, 12], нами проведен анализ динамики некоторых клеточных популяций крови с учетом вида проведенного лечения пациентам с раком поджелудочной железы.

При сравнительном анализе показателей периферической крови установлено снижение количества тромбоцитов с $285,7 \times 10^9/\text{л}$ до $208,9 \times 10^9/\text{л}$ в процессе лечения с тенденцией к увеличению на 7-е сутки после окончания радиотерапии ($229,0 \times 10^9/\text{л}$). В группе пациентов после хирургического лечения уровень тромбоцитов ($375,7 \times 10^9/\text{л}$) превышал таковой у пациентов после лучевой терапии ($208,9 \times 10^9/\text{л}$) в 1,8 раза ($p_{\text{Манн-Уитни}} = 0,0002$). При индивидуализированном анализе данных динамики популяции тромбоцитов у пациентов, получивших лучевую терапию выявлена группа радиочувствительных пациентов – 37%, у которых опустошение пула тромбоцитов наступило уже в ходе проведения радиотерапии (группа 1) и группа 2, у которых данной тенденции не выявлено. Различия в количественном содержании тромбоцитов после окончания радиотерапии между 1-й и 2-й группой пациентов значимы ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$).

В результате изучения лейкоцитарной формулы крови пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, установлено, что при проведении лучевой терапии уровень лейкоцитов у пациентов оставался в пределах нормы. Отмечено лишь незначительное снижение данного показателя во время проведения лучевой терапии. В группе пациентов после хирургического вмешательства выявлено повышение уровня лейкоцитов в крови с $7,2 \times 10^9/\text{л}$ до $9,29 \times 10^9/\text{л}$ ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$) (рис. 1).

Согласно современной концепции канцерогенеза, функциональное состояние пациентов со злокачественными новообразованиями характеризуется развитием «хронического стресса» [13, 14]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что у обследованных пациентов наблюдалось развитие воспалительной реакции различной степени выраженности. При сравнительном анализе содержания лейкоцитов в периферической крови после окончания лечения установлены достоверно значимые различия ($p_{\text{Манн-Уитни}} = 0,0435$) в группах пациентов, подвергнутых радиотерапии и хирургическому лечению.

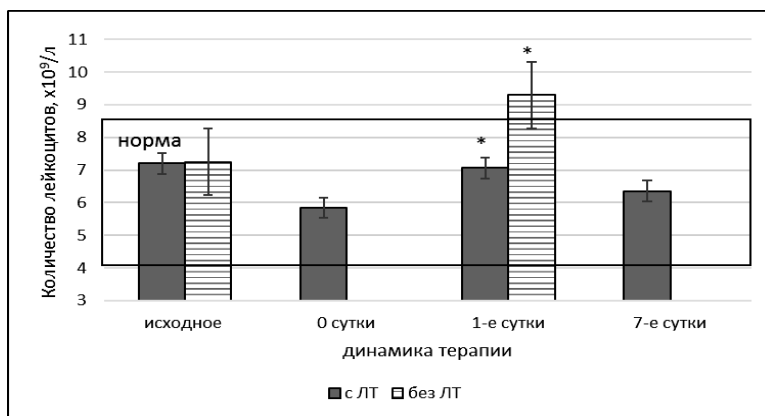


Рисунок 1 – Количество лейкоцитов в динамике лечения у пациентов с РПЖ (* $p < 0,05$)

Учитывая высокую индивидуальную вариацию содержания лейкоцитов в крови в процессе лучевой терапии, пациенты были разделены на две подгруппы на основе степени выраженности количественной вариации лейкоцитов. Так у 32% пациентов выявлена более высокая радиочувствительность, что явно отражалось на общем содержании лейкоцитов во время проведения лучевой терапии и на 7-е сутки после ее окончания ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$) по сравнению с пациентами радиорезистентной группы.

Известно, что лимфоидная ткань обедняется клеточными элементами раньше, чем ткань костного мозга. С этой точки зрения, для оценки индивидуальной реакции организма на лучевое воздействие особый интерес могут представлять лимфоциты – мигрируя по всему организму, они в обязательном порядке попадают в зону радиационного воздействия.

В результате анализа данных можно отметить, что относительное количество лимфоцитов у пациентов с РПЖ до начала лечения находилось в пределах нормы. Во время проведения адъювантной лучевой терапии выявлено снижение лимфоцитов в крови пациентов (с 27,3 до 5,86%) в 4,7

раза, что свидетельствует о высокой радиочувствительности данной популяции клеток крови ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$). После окончания лучевой терапии относительное количество лимфоцитов снизилось до $5,86 \pm 0,52\%$, что свидетельствует о высокой радиочувствительности клеток. При выполнении хирургического вмешательства наблюдалось незначительное снижение содержания лимфоцитов в крови пациентов с РПЖ (рис. 2).

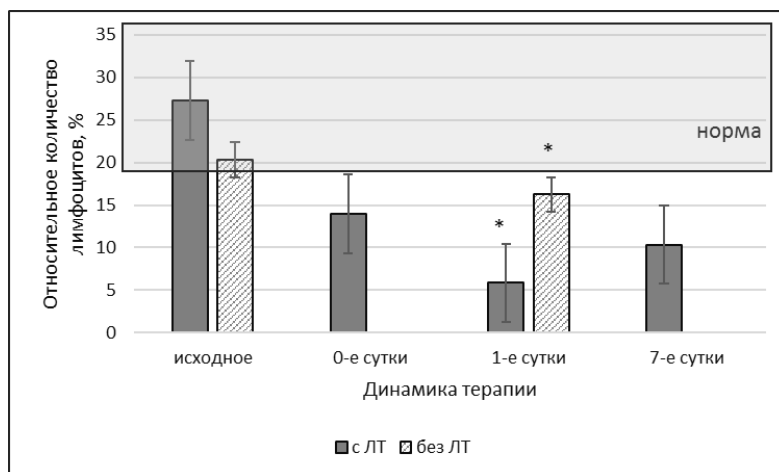


Рисунок 2 – Динамика количества лимфоцитов у пациентов с РПЖ (* $p < 0,05$)

В результате индивидуального статистического анализа данных относительного количества популяции лимфоцитов в крови между группой радиочувствительных и радиорезистентных пациентов во время лучевой терапии и на 7-е сутки после окончания лучевого воздействия выявлены значимые различия ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$).

При изучении динамики относительного числа нейтрофилов у пациентов с РПЖ выявлено незначительное их изменение (рис. 3). В группе пациентов, получивших послеоперационное лучевое воздействие, детектировано увеличение количества нейтрофилов как во время терапии ($73,4 \pm 2,36\%$), так и после ее окончания ($83,5 \pm 1,33\%$). На 7-е сутки после окончания лечения данный показатель возвратился к норме и составил $69,6 \pm 5,84\%$. В группе пациентов без использования лучевой терапии относительное количество нейтрофилов возросло незначительно ($71,2 \pm 1,82\%$) на 6,1% по отношению к исходным значениям. При сравнительном анализе данных после окончания лечения выявлено достоверное различие в группах пациентов с радиационным воздействием и без проведения лучевой терапии ($p_{\text{Манн-Уитни}} = 0,0002$).

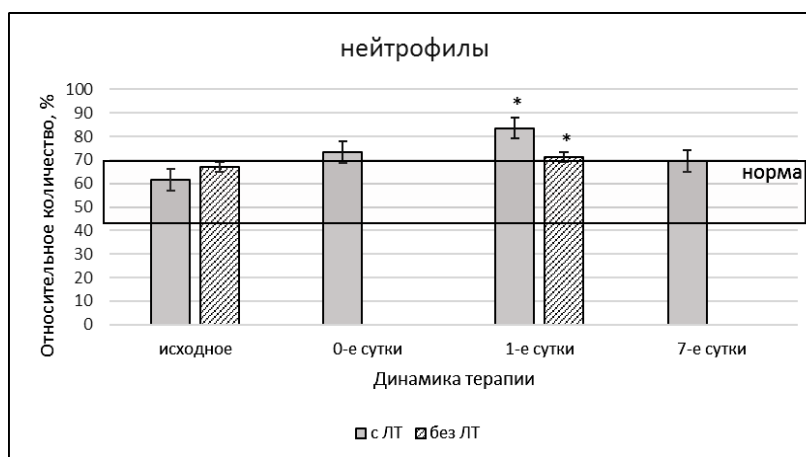


Рисунок 3 – Динамика содержания нейтрофилов в крови пациентов с РПЖ в процессе лечения (* $p < 0,05$)

Результаты проведенных исследований показали достоверно значимые различия в содержании нейтрофилов между радиочувствительной группой пациентов и радиорезистентной группой после окончания лучевой терапии ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$).

Относительное количество моноцитов у пациентов с раком поджелудочной железы в динамике послеоперационной терапии находилось в пределах нормы. Содержание моноцитов в крови у паци-

ентов с лучевой терапией и без радиационного воздействия не имеет достоверных различий ($p_{\text{Манн-Уитни}} > 0,05$). В процессе проведения лучевой терапии наблюдалась тенденция к уменьшению относительного количества моноцитов у пациентов радиочувствительной группы по сравнению с радиорезистентной группой ($p_{\text{Манн-Уитни}} = 0,09$).

При изучении показателей лейкоцитарного индекса интоксикации по Кальф-Калифу у пациентов с РПЖ после окончания лучевой терапии выявлено превышение (с 0,77 до 2,47 отн. ед.) в 3,2 раза значения параметра в контроле, что указывает на активизацию противовоспалительных процессов ($p_{\text{Манн-Уитни}} > 0,05$). У пациентов без лучевой терапии после завершения адъювантного лечения данный показатель повышен (с 0,8 до 1,8 отн. ед.) в 2,3 раза.

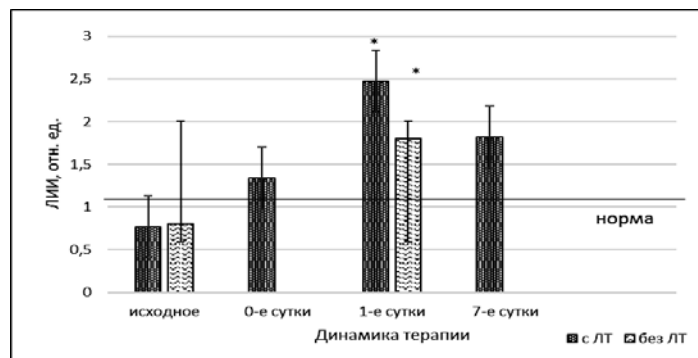


Рисунок 4 – ЛИИ у пациентов с РПЖ (* $p < 0,05$)

В группе пациентов, получивших лучевую терапию по реализации эффекта радиотерапии и динамике показателя ЛИИ, выделены 2 подгруппы: пациенты со слабо выраженной динамикой показателя (до лечения – 0,69 ед., после терапии – 0,78 отн. ед.) и группа, для которой характерно выраженное увеличение значений данного показателя (с 0,69 до 2,69 отн. ед.) до 389,9%, достоверно значимо отличного от нормального значения. Учитывая, что ЛИИ отражает эффект воздействия ионизирующих излучений на опухолевую ткань, его значение будет коррелировать с индивидуальной радиочувствительностью ткани, что может быть использовано при индивидуализации дозовых нагрузок. Таким образом, статистический анализ данных динамики индекса интоксикации по Кальф-Калифу после завершения лучевой терапии свидетельствует о достоверно значимом различии между двумя рассматриваемыми группами пациентов ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$).

При индивидуализированном анализе данных индекса сдвига лейкоцитов (ИСЛ) у пациентов, страдающих раком поджелудочной железы (рис. 5) установлено, что до начала терапии в обеих группах данный показатель находился в пределах нормы. В группе пациентов, получивших радиотерапию, выявлен повышенный уровень параметра ИСЛ (с 2,3 до 7,28 отн. ед.) в 3,2 раза. После завершения радиационного воздействия в данной группе отмечена тенденция к снижению значений показателя ИСЛ с 7,28 до 4,34 отн. ед. У пациентов с РПЖ без адъювантной лучевой терапии индекс сдвига лейкоцитов после окончания лечения превышал значения показателя (до лечения – 2,72, после лечения – 4,14 отн. ед.) в 1,8 раза по отношению к норме. Между группами пациентов, получивших лучевую терапию и не получивших радиотерапию после завершения лечения установлено достоверно значимое различие ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$).

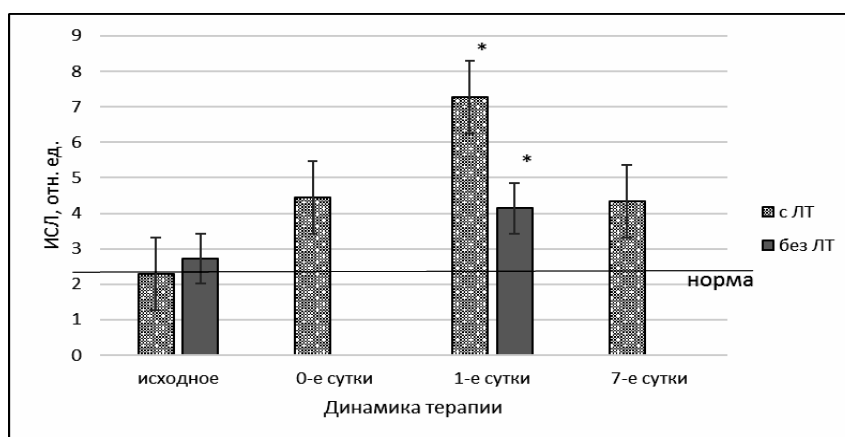


Рисунок 5 – Динамика ИСЛ у пациентов с РПЖ (* $p < 0,05$)

По данным статистического анализа индекса сдвига лейкоцитов между группами радиочувствительных пациентов (до лечения 2,79 отн. ед., после лечения – 8,73 отн. ед.) и радиорезистентных (до лечения – 1,96 отн. ед., после лечения – 5,04 отн. ед.) после завершения радиационного воздействия установлено достоверно значимое различие в значениях данного показателя в 1,8 раза ($p_{\text{Манн-Уитни}} = 0,0017$).

Повышение содержания в кровеносном русле клеточного пула нейтрофилов и уменьшение популяции лимфоцитов сопряжены с увеличением интегрального параметра индекса соотношения нейтрофилов и лимфоцитов (ИСНЛ) (рис. 6) в группе пациентов с адьювантной лучевой терапией. Результаты выполненных исследований показали, что проведение радиотерапии связано с повышением уровня показателя ИСНЛ (исходное значение – 2,81 отн. ед., после лечения – 16,45 отн. ед.) в 5,9 раза с постепенной тенденцией к понижению на 7-е сутки после окончания лечения (с 16,45 до 6,78 отн. ед.) до 41,2%. Это свидетельствует о высокой чувствительности пациентов к проведенным лучевым воздействиям. У пациентов без радиотерапии данный параметр после лечения превышал норму (с 4,27 до 6,83 отн. ед.) в 1,6 раза. Выявлено достоверно значимое различие ($p_{\text{Манн-Уитни}} = 0,00004$) между группами пациентов, получивших лучевую терапию, и без радиотерапии после окончания лечения. После лучевой терапии у пациентов с РПЖ выявлена тенденция к снижению показателя индекса соотношения нейтрофилов и лимфоцитов по отношению к таковому в норме ($2,67 \pm 0,09$ отн. ед.).

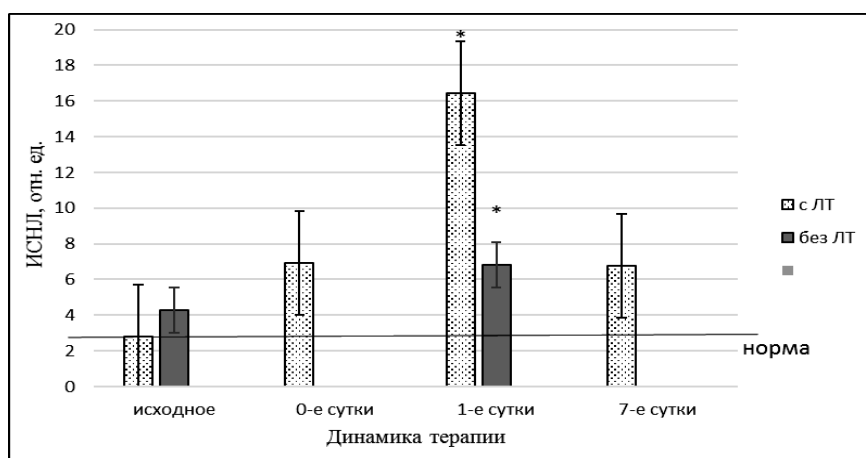


Рисунок 6 – Динамика ИСНЛ у пациентов, страдающих РПЖ, в процессе лечения (* $p < 0,05$)

Статистический анализ индивидуальных данных пациентов, подвергшихся радиотерапии показал, что после окончания лечения между пациентами радиочувствительной (26,75 ед.) и радиорезистентной (10,13 отн. ед.) групп выявлены достоверно значимые различия в значениях анализируемого показателя в 2,6 раза ($p_{\text{Манн-Уитни}} = 0,0027$).

Результат проведенных исследований выявил, что у пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, проведение специального лечения сопряжено с угнетением функции аффлекторных клеток иммунитета и неспецифическим понижением индекса соотношения лимфоцитов и моноцитов (ИСЛМ) (с 4,64 до 0,68 отн. ед.) в 6,9 раза по отношению к норме ($5,78 \pm 0,73$ отн. ед.). У пациентов, не получавших лучевую терапию, анализируемый показатель не изменялся в ходе наблюдения (исходное значение – 3,06 отн. ед., после лечения – 3,05 отн. ед.). У пациентов с включением в схемы лечения радиотерапии детектировано значительное снижение ИСЛМ после завершения лечения, что может указывать на индивидуальную чувствительность организма на проведенное лечение и относительно благоприятный прогноз течения заболевания. После окончания лечения выявлены достоверно значимые различия в значениях исследуемого показателя ИСЛМ в группе пациентов с лучевой терапией и группе пациентов, не подвергнутых лучевому воздействию (0,68 отн. ед. и 3,05 отн. ед. соответственно) в 4,5 раза ($p_{\text{Манн-Уитни}} = 0,000002$).

На 7-е сутки после окончания лучевой терапии установлено достоверно значимое различие в уровне параметра ИСЛМ у пациентов радиочувствительной группы (0,89 отн. ед.) по отношению к значениям показателя в радиорезистентной группе (2,67 отн. ед.) в 3,0 раза ($p_{\text{Манн-Уитни}} < 0,05$).

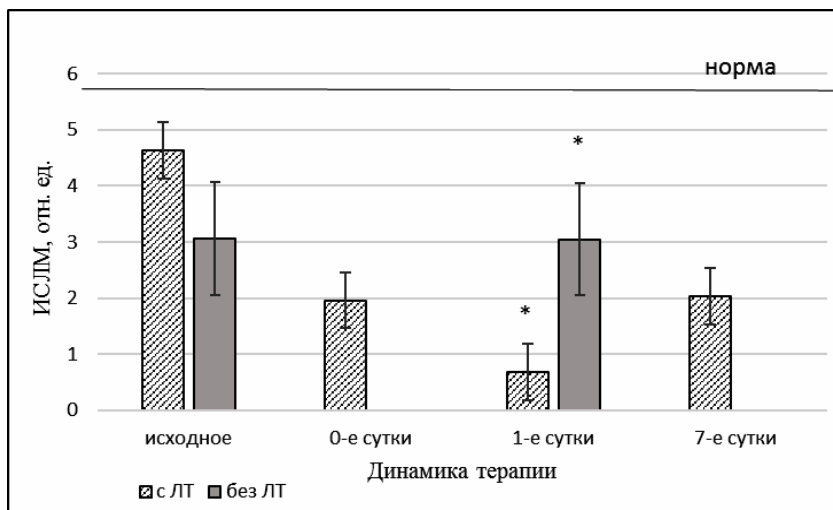


Рисунок 7 – Динамика ИСЛМ у пациентов с раком поджелудочной железы в процессе лечения (* $p < 0,05$)

Выводы

Таким образом, суммируя все изложенное выше, можно констатировать, что при анализе данных клеточных показателей крови пациентов, страдающих раком поджелудочной железы, наиболее радиочувствительным звеном являются лимфоциты. Нарастание абсолютного количества лейкоцитов с увеличением доли юных форм является неспецифическим признаком компенсаторно-адаптационной реакции организма в раннем послеоперационном периоде. При благоприятном течении выявленные изменения в лейкограмме регрессируют, а снижение общего числа лейкоцитов с увеличением процентного содержания нейтрофильных форм свидетельствует об увеличенном расходе лейкоцитов в очагах повреждения и неблагоприятном прогнозе на индивидуальном уровне.

Согласно вышеизложенному, представляется обоснованным заключить, что изученные показатели реактивности гомеостаза, величина которых коррелирует с состоянием определённых клеточных популяций, отражают индивидуальную реакцию организма на радиационное воздействие, что позволяет их использовать в качестве маркеров индивидуальной радиочувствительности. По нашим данным все изученные гомеостатические показатели организма являются высокоинформативными и имеют высокую диагностическую значимость в оценке эффективности проводимой терапии у пациентов, страдающих раком поджелудочной железы.

Список литературы

1. Блохин, Н. Н. Рак поджелудочной железы и внепеченочных желчных путей / Н. Н. Блохин, А. Б. Итин, А. А. Клименков – М.: – Медицина, 1999. – 272 с.
2. Злокачественные новообразования в Беларуси 2001–2010 / А. Е. Океанов [и др.]; под общ. ред. О. И. Суконого. – Минск: РНПЦ МТ, 2011. – 221 с.
3. Verbeke, C. S. Resection margins in pancreatic cancer / C. S. Verbeke // The surgical clinics of North America. – 2013. – Vol. 93. – Pp. 647–662.
4. Marsh, R. W. Rationale and appropriate use of chemotherapy and radiotherapy for pancreatic ductal adenocarcinoma / R. W. Marsh, T. George // Curr. Gastroenterol. Rep. – 2006. – Vol. 8. – Pp. 111–120.
5. Binmoeller, K. F. EUS-guided drainage of pancreatic fluid collections using fully covered self-expandable metal stents / K.F. Binmoeller // Gastroenterology and hepatology. – 2013. – Vol. 9. – Pp. 442–444.
6. Ревтович, М. Ю. Показатели клеточной реактивности после проведения интраоперационной гипертермохимиотерапии у пациентов с резектабельным раком желудка / М. Ю. Ревтович, Р. М. Смолякова, А. И. Шмак // Экологический вестник. – 2013. – № 4 (26). – С. 25–33.
7. Коррекция синдрома эндогенной интоксикации при остром панкреатите / А. П. Власов [и др.] // Хирургия. – 2010. – № 5. – С. 60–64.
8. Лабораторные показатели эндогенной интоксикации при раке тела матки и значение их определения для оценки стадии и степени дифференцировки опухоли / Т.Ю. Принькова [и др.] // Лабораторная диагностика. Восточная Европа. – Минск. – 2012. – № 4. – С. 79–87.
9. Оценка эндогенной интоксикации и прогнозирование гнойно-воспалительных осложнений у онкологических больных по лабораторным показателям крови: инструкция по применению № 20–0205 МЗ РБ / Р. М. Смолякова [и др.]. – Минск: НИИ ОМР им. Н. Н. Александрова, 2005. – 11 с.

10. Сакович, А. Р. Характеристика интоксикации при остром гнойном синусите с позиции комплексной оценки / А. Р. Сакович // Мед. журнал. – 2014. – № 4. – С. 109–112.
11. Пяткин, Е. К. Биологическая дозиметрия с помощью анализа аберрантных хромосом и количества клеток в периферической крови / Е. К. Пяткин, А. Е. Баранов // Итоги науки и техники. Витини. АН СССР. / Сер. рад. биол. – М., 1980. – Т. 3. – 145 с.
12. Мельнов, С. Б. Биологическая дозиметрия: теоретические и практические аспекты монография / С. Б. Мельнов. – Минск: Белорусский комитет «Дзеці Чарнобыля». – 2002. – 192 с.
13. Гирин, С. В. Интегральные гематологические показатели в оценке состояния организма / С. В. Гирин, И. В. Юрченко // Биологическая терапия. – 2010. – № 4. – С. 18–21.
14. Оксидантный стресс и глутатионовая редокс-система в канцерогенезе / А. И. Пашов [и др.] // Мать и Дитя в Кузбассе. – 2012. – № 3 (50). – С. 3–8.

K. M. Shpadaruk, R. M. Smolyakova

INDICATORS OF CELLULAR HOMEOSTASIS RESPONSIVENESS ASSESSMENT DURING COMBINED TREATMENT OF PATIENTS WITH PANCREATIC CANCER

Analyzing the data of cellular blood parameters of patients suffering from pancreatic cancer, the most radiosensitive element are lymphocytes. The increase in the absolute number of white blood cells with an increase in the proportion of young forms is a nonspecific sign of compensatory-adaptive response of the body in the early postoperative period. Test indexes of intoxication, the value of which is correlated with the state of certain cell populations reflect the individual body's response to radiation exposure, which allows them to be used as markers of individual radiosensitivity.

All studied homeostatic parameters of the organism are very informative and have a high diagnostic value in assessing of the effectiveness therapy for patients with pancreatic cancer.

В. Д. Сеирид, А. Н. Батян

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

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИПОТАЛАМО-ГИПОФИЗ-НАДПОЧЕЧНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ АККЛИМАЦИИ К ТЕПЛОМУ И ХОЛОДОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАЗЛИЧНОЙ МОДАЛЬНОСТИ

Показано, что при слабой силе действия температурного фактора среды наблюдается кратковременная активация гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системы. Это выражается незначительным выбросом в кровь животных кортикотропина и кортикостерона с последующей нормализацией к 3 ч. Отмеченное увеличение этих гормонов в крови носит адаптационный характер на действие слабой силы фактора внешней среды и не связано с широкомасштабной активацией гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системы. При действии фактора средней силы наблюдается ступенчатое включение системы гипофиз – надпочечники. С начала в крови появляется кортикотропин, затем кортикостерон. Этот процесс характеризуется цикличностью выброса гормонов в кровь и направлен на мобилизацию пластических ресурсов для формирования адаптационной реакции.

➤ **Ключевые слова:** адаптация, гипоталамо-гипофиз-надпочечниковая система, кортикотропин, кортикостерон.

Введение

Для практического решения комплекса задач эколого-физиологического характера важным является исследование процессов обмена веществ в организме при действии на него экстремальных факторов внешней среды. Адаптация к экстремальным воздействиям среды осуществляется через общие неспецифические реакции, в основе которых лежат процессы мобилизации энергетических ресурсов, пластического обмена и защитных механизмов организма. В основе общей неспецифической адаптации лежит механизм общего адаптационного синдрома или стресса [1, 2, 5]. На фоне стресса осуществляется развертывание специфических реакций, обеспечивающих поддержание гомеостаза организма. В реализации механизма общей адаптации значительное место принадлежит гипоталамо – гипофиз – надпочечниковой системе, по степени, активации которой можно судить о силе стрессорной реакции [2, 4, 7]. Вместе с тем, гормоны коры надпочечников вызывают мобилизацию пластического резерва организма, что выражается в создании фонда свободных аминокислот, и активации процессов энергообеспечения. Оба этих процесса следует рассматривать как целенаправленную подготовку для адаптивного синтеза белков. Вслед за этим функциональная нагрузка, вызванная действием факторов среды, приводит к увеличению синтеза нуклеиновых кислот и белков и как следствие к формированию системного структурного следа в функциональных системах, специфически ответственных за адаптацию организма к данному конкретному фактору среды. В большей степени при этом растет масса мембранных структур, ответственных за восприятие клеткой управляющих сигналов, ионный транспорт, энергообеспечение, т. е. именно те структуры, которые являются в целом ключевыми в клетке для реализации адаптационной реакции [1, 2, 8]. Изучение путей и механизмов развития адаптационной реакции приобретает большое значение в наши дни в связи с освоением человеком новых географических регионов, а также авиации, космонавтики, глубоководных погружений и развитием новых видов трудовой деятельности и новых профессий [6, 8].

На основании вышеизложенного задачей данного исследования было выявить специфические изменения в содержании стресс-реализующих гормонов кортикотропина и кортикостерона в крови при действии стрессорных факторов различной силы (на примере теплового и холодного стресса).

Методы исследования

В опытах использовали белых беспородных мышей массой 20–25 г. Опытных животных содержали в климатической камере при –5 °С, 0 °С, 35 °С, 40 °С или 45 °С, а контрольных – в термонейтральных условиях (20–25 °С). Через 0,25; 0,5; 1; 2 и 3 час у мышей опытной и контрольной групп забирали аликвоту общей фракции крови в соответствии с рекомендациями, изложенными в Европейской конвенции о защите лабораторных животных. Опыты всегда проводились в утренние часы

до полудня. Кортикотропин определяли в плазме крови с помощью радиоиммунного набора (CIS, Франция), а кортикостерон в сыворотке крови с использованием радиоиммунного набора (НИИЭПит АМН, Россия).

Степень теплового воздействия контролировали, измеряя ректальную температуру медицинским электротермометром ТПЭМ-1.

Результаты исследования и их обсуждение

Для выяснения вопроса как изменяются уровни кортикотропина и кортикостерона в крови в зависимости от силы внешнего стрессорного теплового фактора было проведено следующие эксперименты: 1 – содержание животного в термонейтральных условиях; 2 – при температуре окружающей среды 35 °С; 3 – при температуре – 40 °С; 4 – при температуре – 45 °С. В наших опытах через 1 час после помещения животных в климатическую камеру с температурой 35 °С ректальная температура у них в среднем повышалась на 2,4 °С, при температуре 40 °С – на 3,3 °С, а при 45 °С – на 4,4 °С (рис. 1). Для удобства дальнейшего изложения можно условно классифицировать степень воздействия фактора внешней среды на животное в первом случае, как слабое, во втором – как среднее, а в третьем – как сильное, которое к 3 час перегревания приводило к летальному исходу 80% особей (рис. 1). При холодовом воздействии изучали действие на организм животного температуры –5 °С и 0 °С. Ректальная температура в первом случае снижалась к 3 час наблюдения до 27,4 °С, а во втором случае – до 30,4 °С. В обеих группах к указанному периоду времени выживало более 60% особей. К 2 час этот показатель составлял более 80%. Поэтому степень холодового воздействия можно классифицировать как средней силы.

По степени активации гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системы можно судить о вкладе общего неспецифического механизма адаптации в осуществление специфических реакций поддержания гомеостаза организма. Опыты выполнялись по приведенной выше схеме.

Опыты показали, что в зимний период в крови белых мышей содержание кортикотропина было 712 ± 72 нг/л, в весенний период – 283 ± 54 нг/л, а концентрация кортикостерона в эти же периоды составила 32 ± 5 и 9 ± 2 нмоль/л, соответственно.

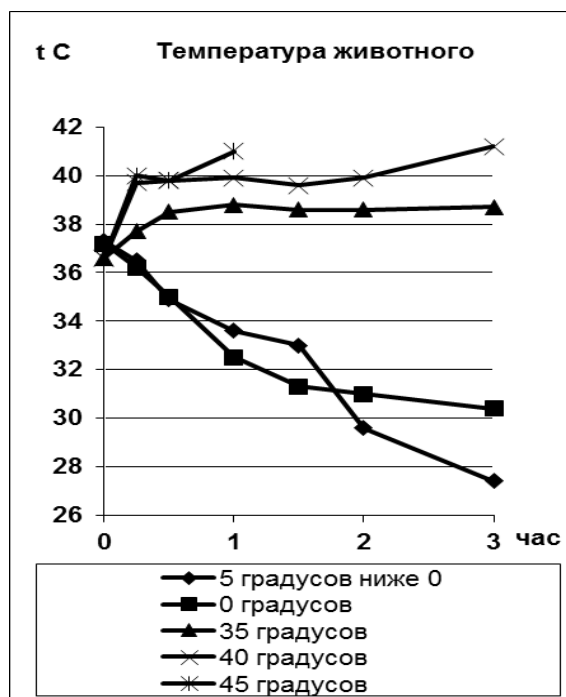


Рисунок 1 – Влияние теплового воздействия различной силы на изменения ректальной температуры у белых мышей. По оси абсцисс – временные периоды наблюдения. По линии ординат – температура в градусах

При слабой силе теплового воздействия содержание кортикотропина достигает максимума к 15 мин (рис. 2). В дальнейшем содержание гормона в крови не отличалось от контрольного уровня. При средней степени стрессорного фактора уровень кортикотропина повышается через 15 мин, затем снижается до нормы к 30 мин и опять повышается через 1 час. При температуре 45 °С резко возрастает к 1 час.

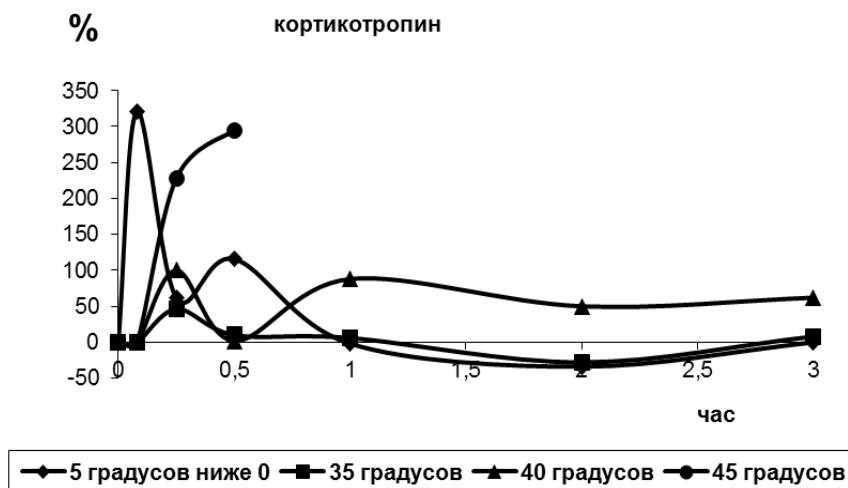


Рисунок 2 – Влияние теплового воздействия различной силы на изменения уровней кортикотропина в крови белых мышей. По оси абсцисс – временные периоды наблюдения. По линии ординат – процент от контроля, принятого за 0

При действии холода обнаруживается подобная картина. Наблюдается выброс кортикотропина в кровь на 5 мин после помещения животного в климатическую камеру с температурой -5°C . Далее к 15 мин – снижение, после чего следует небольшое увеличение и к 1 ч возвращение к контрольному уровню. Подобная картина, но менее выраженная наблюдается и при температуре 0°C .

При слабой силе теплового воздействия содержание кортикостерона достигает максимума к 1 час, а далее возвращается к контрольному уровню (рис. 3). Содержание кортикостерона при средней степени теплового фактора повышается, начиная с 30 мин, и к 3 час достигает 419% от контроля. При сильном тепловом воздействии наблюдается сильнейший выброс в кровь указанного гормона.

При действии температуры 0°C показано значительное увеличение уровней кортикостерона в крови на 30 мин и через 2 ч после начала действия холодного фактора с последующим восстановлением до нормы.

Таким образом, слабая степень температурного стрессорного воздействия вызывает кратковременное повышение активности гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системы, а затем снижение ее активации к исходному уровню. При усилении температурного стимула возрастает степень ее активации без возвращения к контрольному уровню.

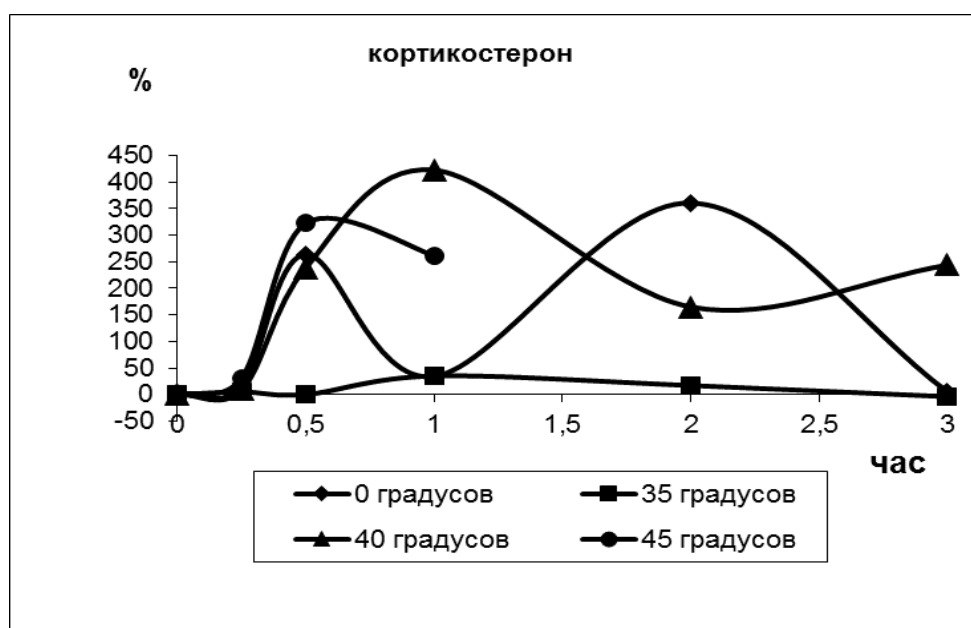


Рисунок 3 – Влияние теплового воздействия различной силы на изменения уровней кортикостерона (Б) в крови белых мышей. По оси абсцисс – временные периоды наблюдения. По линии ординат – процент от контроля, принятого за 0

Выводы

Суммируя приведенные выше факты, следует заключить, что при слабой силе действия внешнего фактора среды наблюдается кратковременная активация гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системы. Это выражается незначительным выбросом в кровь животных кортикотропина и кортико-стерона с последующей нормализацией к 3 ч. Отмеченное увеличение этих гормонов в крови носит адаптивный характер на действие слабой силы фактора внешней среды и не связано с широкомасштабной активацией гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системы. При действии фактора средней силы наблюдается ступенчатое включение системы гипофиз – надпочечники. Сначала в крови появляется кортикотропин, затем кортико-стерон. Этот процесс характеризуется цикличностью выброса гормонов в кровь. Сильный стрессорный фактор стимулирует значительный выброс кортикотропина и кортико-стерона в кровь белых мышей, в результате чего осуществляется мобилизация механизма общей неспецифической адаптации [1, 2, 5]. Функция гипоталамо-гипофиз-надпочечниковой системы, в данном случае, заключается в создании фонда свободных аминокислот и в индукции синтеза ферментов аминокислотного обмена [3]. Следовательно, при сильном температурном воздействии сосуществуют два разнонаправленных механизма. Один – осуществляющий специфические реакции поддержания температурного гомеостаза, и вызывающий адаптивный синтез специфических белков [5, 6] и нуклеиновых кислот и другой механизм неспецифической адаптации, направленный на создание фонда свободных аминокислот за счет катаболизма белков [2].

Таким образом, при увеличении силы температурного фактора внешней среды возрастает вклад неспецифических реакций адаптации, опосредуемых через активацию гипоталамо – гипофиз – надпочечниковой системы. В результате увеличивается мобилизация структурного резерва, необходимого для формирования и совершенствования специфических механизмов терморегуляции и адаптации к температурным воздействиям [2, 3].

Список литературы

1. Панин, Л. Е. Биохимические механизмы стресса. – Новосибирск: Наука, 1983. – 234 с.
2. Физиология адаптационных процессов / под ред. О. Г. Газенко, Ф. З. Меерсон. – М.: Наука, 1986. – 635 с.
3. Физиология терморегуляции / под ред. К. И. Иванов. – М.: Наука, 1984. – 470 с.
4. Droste, S. K., Gesing, A., Ulbricht, S., Muller, M. B., Linthorst, A. C. E., Reul, J. M. H. Effects of Long-Term Voluntary Exercise on the Mouse Hypothalamic-Pituitary-Adrenocortical Axis. *Endocrinology*. 2003. – V. 144. – № 7. – Pp. 3012 – 3023.
5. McEwen, B. S. Physiology and Neurobiology of Stress and Adaptation: Central Role of the Brain. *Physiological Reviews*. – 2007 – V. 87 – № 3. – Pp. 873–904.
6. Pacák, K., Palkovits, M. Stressor Specificity of Central Neuroendocrine Responses: Implications for Stress-Related Disorders. *Endocrine Reviews*. – 2001. – V. 22. – № 4. – Pp. 502–548.
7. Sapolsky, R. M., Romero, L. M., Munck, A. U. How Do Glucocorticoids Influence Stress Responses? Integrating Permissive, Suppressive, Stimulatory, and Preparative Actions. *Endocrine Reviews*. – 2000. – V. 21 – № 1. – Pp. 55–89.
8. O'connor, T. M., O'halloran, D. J., Shanahan, F. The stress response and the hypothalamic-pituitary-adrenal axis: from molecule to melancholia. *International Journal of Medicine QJM*, – 2000. – V. 93. – № 6. – Pp. 323–333.

V. D. Svirid, A. N. Batyan

FUNCTION OF HYPOTHALAMIC-PITUITARY-ADRENAL AXIS DURING ACCLIMATION TO HEAT AND COLD EXPOSURE OF DIFFERENT MODALITIES

It was shown that under the influence of the temperature factor of the environment hypothalamic-pituitary-adrenal system is activated. This results in release of corticotropin and corticosterone in animal blood. Stepwise inclusion of pituitary-adrenal glands was observed. At first, in blood appears corticotropin, then corticosterone. This process is characterized by cyclical release of hormones in the blood and is aimed to mobilize material resources for adaptive response formation.

В. А. Мельник

Гомельский государственный медицинский университет,
г. Гомель, Республика Беларусь

ДИНАМИКА ВО ВРЕМЕНИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ШКОЛЬНИКОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНИВШЕЙСЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРОЖИВАНИЯ

В статье представлены результаты сравнительного анализа половозрастной динамики морфофункциональных показателей физического развития городских школьников за временной период с 1970-х по 2012 гг. Установлено наличие процесса акселерации у современных городских школьников Беларуси, проявившегося в увеличение длины и массы тела у мальчиков и астенизации (увеличение длины тела при снижении его массы) у девочек. По сравнению со сверстниками, обследованными более 20 лет назад, современные городские школьники Беларуси характеризуются более низкими значениями силовых качеств скелетной мускулатуры, жизненной емкости легких и более высокими значениями уровня артериального давления.

➤ **Ключевые слова:** физическое развитие, морфофункциональные показатели, школьники.

Введение

На современном этапе развития человечества экология разных стран мира, в том числе и Республики Беларусь, характеризуется высоким уровнем антропогенной нагрузки на живые организмы. В связи с этим особый интерес представляет изучение особенностей адаптации организма человека к различным комбинациям природных и социальных факторов.

Мониторинг морфофункциональных показателей физического развития (ФР) на восходящем этапе онтогенеза является одной из основных задач ауксологии и возрастной физиологии. Расширение научных представлений о формировании растущего организма в меняющихся природных и социальных условиях жизни имеет большое значение для разработки теории адаптации с онтогенетических позиций [1, 2].

Одной из наиболее важных особенностей возрастной динамики соматических и функциональных показателей ФР детей и подростков является неравномерность изменений скорости ростовых процессов [7, 10]. Изучению динамики этих показателей у школьников посвящено немало исследований во многих странах мира [6, 7, 13, 14]. Так, в результате сравнительного анализа данных, полученных Ю. А. Ямпольской и Е. З. Годиной, было установлено начало процесса акселерации у школьников в 1960-е годы, ее продолжение и пик к середине 1970-х годов, а, начиная, с 1980-х годов авторами выявлены элементы децелерации [4]. Волнообразный характер эпохальных изменений показателей ФР, характеризующийся чередованием периодов ускорения и замедления роста и развития, также отмечался и в странах Европы [15].

При этом анализ литературы по данной проблеме указывает на то, что в различных странах в зависимости от экологической и социально-экономической обстановки имеют место разнонаправленные процессы изменения морфофункциональных показателей школьников [13, 14].

Исследования, проводимые сотрудниками отдела антропологии и экологии Института истории НАН Беларуси, позволили установить, что у детей и подростков Беларуси, проживающих в малых городах и селах с начала 1980-х годов до начала XXI века процессы акселерации не затухали. Учеными доказано влияние на ФР степени урбанизации населенного пункта [8].

Оценка функциональных показателей развития ребенка является важным критерием состояния его здоровья. Отклонение этих показателей от нормы часто является первым важным признаком нарушения функционального состояния организма ребенка. Одними из важнейших показателей, характеризующих функционирование организма, являются показатели мышечной, сердечнососудистой и дыхательной систем.

Необходимость постоянного наблюдения за морфофункциональным статусом подрастающего поколения в различных регионах трудно переоценить. Многие исследователи рекомендуют уточнять региональные стандарты ФР через каждые 5–10 лет, так как со временем они изменяются [2].

Цель исследования – изучить изменения во времени морфофункциональных показателей физического развития у городских школьников за период с 70-х начала 90-х годов прошлого столетия по 2010–2012 гг.

Методы исследований

С целью изучения изменения во времени половозрастных особенностей ростовых процессов у школьников г. Гомеля проведен сравнительный анализ антропометрических данных детей и подростков г. Гомеля в возрасте от 8 до 16 лет, полученных в 1973 г. (первая группа: 921 мальчик и 991 девочка) [5], в 1994–1996 гг. (вторая группа, представляющая собственные данные: 449 мальчиков и 450 девочек) и в 2010–2012 гг. (третья группа, представляющая собственные данные: 1452 мальчика и 1653 девочки).

Антропометрическое обследование школьников проводилось с использованием стандартного антропометрического набора инструментов по унифицированной методике В. В. Бунака, в соответствии с программой, традиционно используемой антропологами России и Беларуси [11]. Для характеристики ФР детей и подростков использованы следующие антропометрические показатели: длина тела (ДТ), масса тела (МТ), обхват грудной клетки (ОГК). Рассчитывались абсолютные и относительные значения ежегодных приростов ДТ, МТ, ОГК и выявлялись периоды относительного ускорения и замедления темпов их прироста у обследованных школьников.

Для изучения изменений во времени функционального статуса городских школьников проведен сравнительный анализ данных, полученных в конце 80-х начале 90-х годов прошлого столетия при обследовании детей и подростков г. Витебска (первая группа) [9, 12], с материалами собственных исследований, полученных в 2010–2012 гг. при обследовании школьников г. Гомеля (вторая группа: 1452 мальчика и 1653 девочки).

Для оценки функционального состояния организма школьников стандартными методами измерялись: сила мышц кистей рук и мышц разгибателей спины, уровень систолического и диастолического артериального давлений (САД и ДАД), жизненная емкость легких (ЖЕЛ).

Статистическая обработка осуществлялась с использованием пакета прикладных статистических программ «STATISTICA 7.0». Полученные результаты представлены в виде средних арифметических величин (М) и стандартного отклонения (SD). Результаты анализа считались статистически значимыми при $p < 0,05$ [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика во времени соматометрических показателей. В результате проведенных исследований установлено, что ДТ у современных городских школьников (рис. 1, табл. 1) статистически значимо ($p < 0,05–0,001$) выше, чем у их сверстников обследованных в 1973 году (кроме 8-летних мальчиков и девочек).

Показатели ДТ мальчиков, обследованных 1994–1996 гг., были в 8, 12 и 13 лет статистически значимо ниже по сравнению с современными школьниками ($p < 0,05–0,001$) и выше по сравнению со сверстниками 1973 г. в возрастном интервале 9–12 лет (см. табл. 1).

Сравнивая средние величины ДТ девочек второй группы с данными 1973 года и современными сверстницами, установлена такая же, как и у мальчиков, закономерность изменения данного показателя (см. табл. 1).

Наибольшее увеличение ДТ у мальчиков первой группы зафиксировано от 13 до 15 лет, что на один год позже по сравнению со сверстниками из третьей группы (от 12 до 14 лет). Среди девочек, обследованных в 2010–2012 гг., максимальные приросты ДТ выявлены в возрастном диапазоне 11–12 лет, что, как и у мальчиков, происходит на 1 год раньше по сравнению со сверстницами из первой группы. Выявленная закономерность связана с более ранними сроками вступления современных школьников в пубертатный период развития.

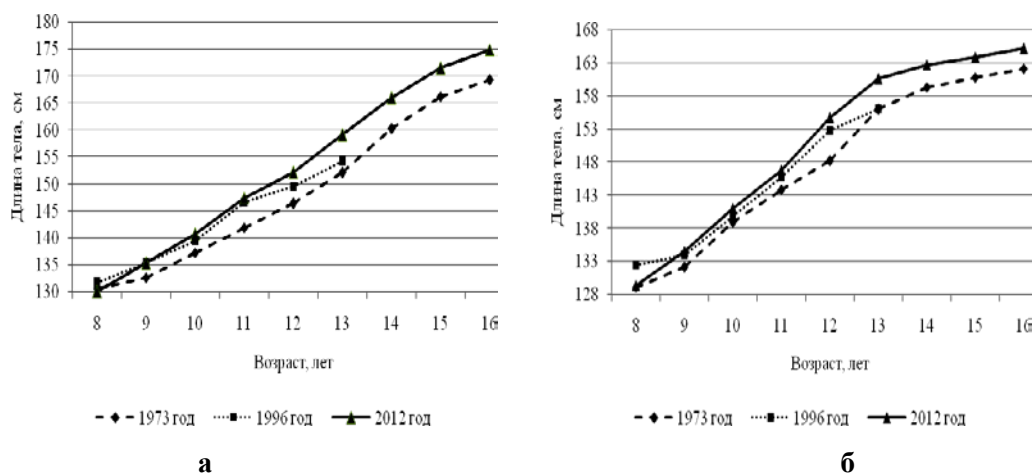


Рисунок 1 — Динамика средних показателей длины тела (см) у городских мальчиков (а) и девочек (б), обследованных в 1973, 1994–1996 и 2010–2012 гг.

Таблица 1

Различия показателей длины тела, вычисленные для мальчиков и девочек в возрастном интервале 8–16 лет относительно показателей их сверстников, обследованных в г. Гомеле в 1973, 1994–1996 и 2010–2012 гг.

Возраст, лет	Различия между данными 1973 и 1994–1996 гг.		Различия между данными 1973 и 2010–2012 гг.		Различия между данными 1994–1996 и 2010–2012 гг.	
	см	p <	см	p <	см	p <
Мальчики						
8	-1,06	—	+0,63	—	+1,69	0,05
9	-2,74	0,01	-2,73	0,001	+0,01	—
10	-2,20	0,05	-3,40	0,001	-1,20	—
11	-4,76	0,001	-5,56	0,001	-0,80	—
12	-3,18	0,01	-5,76	0,001	-2,58	0,01
13	-2,06	—	-7,08	0,001	-5,02	0,001
14	—	—	-5,74	0,001	—	—
15	—	—	-5,31	0,001	—	—
16	—	—	-5,65	0,001	—	—
Девочки						
8	-3,40	0,001	-0,29	—	+3,11	0,001
9	-1,76	0,05	-2,43	0,001	-0,67	—
10	-0,84	—	-2,15	0,05	-1,31	—
11	-1,88	0,05	-2,94	0,001	-1,06	—
12	-4,66	0,001	-6,51	0,001	-1,85	0,05
13	-0,06	—	-4,59	0,001	-4,53	0,001
14	—	—	-3,37	0,001	—	—
15	—	—	-3,09	0,001	—	—
16	—	—	-2,97	0,001	—	—

Общий прирост ДТ у мальчиков первой группы в возрастном интервале от 8 до 16 лет составлял 38,66 см, что на 6,19 см меньше по сравнению с их сверстниками, обследованными в начале XXI в. (см. табл. 1). При этом общий прирост ДТ у девочек изучаемого возрастного периода, обследованных в 1973 г., был меньше по сравнению с их современными сверстницами всего на 2,68 см.

Таким образом, у современных городских школьников за счет более высоких темпов прироста и смещения периодов их максимального увеличения на более ранние сроки показатели ДТ стали выше по сравнению с таковыми, зафиксированными почти 20 и 40 лет назад. Данная закономерность в большей степени выражена у мальчиков.

Показатели МТ у современных городских школьников обоего пола (рис. 2, табл. 2) статистически значимо ($p < 0,001$) выше, чем у их сверстников, обследованных в 1973 г. (кроме 8-, 14–16-летних девочек).

У мальчиков, обследованных в 1994–1996 гг., показатели МТ статистически значимо ($p < 0,05–0,001$) были ниже по сравнению с современными школьниками (кроме 8-летних) и выше по сравнению со сверстниками первой группы в 9, 11–13 лет (см. табл. 2).

Сравнивая средние величины МТ девочек второй группы с данными 1973 г. и современными школьниками установлена такая же, как и у мальчиков, закономерность изменения данного показателя. Однако статистически значимого уровня различия достигали реже (см. табл. 2).

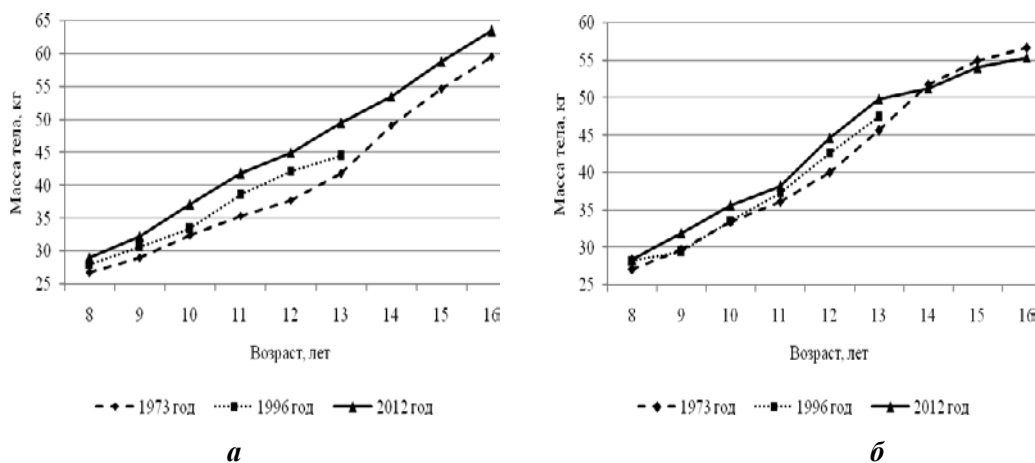


Рисунок 2 — Динамика средних показателей массы тела (кг) у городских мальчиков (а) и девочек (б), обследованных в 1973, 1994–1996 и 2010–2012 гг.

Тенденция наиболее существенного увеличения МТ у мальчиков первой группы зафиксирована от 13 до 14 лет, а у современных школьников – на один год позже (от 14 до 15 лет). Среди девочек, обследованных в 2010–2012 гг., максимальные приросты МТ выявлены в возрастном диапазоне 11–13 лет, что на 1 год раньше по сравнению со сверстницами из первой группы.

Общий прирост МТ у мальчиков первой группы в возрастном интервале от 8 до 16 лет составил 32,82 кг, что на 1,66 кг меньше по сравнению с их сверстниками, обследованными в начале XXI в. (см. табл. 2). При этом общий прирост МТ у девочек изучаемого возрастного периода, обследованных в 1973 г., был больше по сравнению с их современными сверстницами на 2,51 кг, что на фоне наличия процесса акселерации по показателям ДТ свидетельствует об астенизации тела современных девочек.

Таким образом, у современных городских мальчиков за счет более высоких темпов прироста показатели МТ выше по сравнению с данными, полученными почти 20 и 40 лет назад. Данная закономерность у девочек прослеживалась только в возрастных группах 9–13 лет.

Таблица 2

Различия показателей массы тела, вычисленные для мальчиков и девочек в возрастном интервале 8–16 лет относительно показателей их сверстников, обследованных в г. Гомеле в 1973, 1994–1996 и 2010–2012 гг.

Возраст, лет	Различия между данными 1973 и 1994–1996 гг.		Различия между данными 1973 и 2010–2012 гг.		Различия между данными 1994–1996 и 2010–2012 гг.	
	кг	p <	кг	p <	кг	p <
Мальчики						
8	-1,20	—	-2,29	0,001	-1,09	—
9	-1,56	0,01	-3,29	0,001	-1,73	0,05
10	-0,94	—	-4,71	0,001	-3,77	0,01
11	-3,22	0,001	-6,49	0,001	-3,27	0,01
12	-4,40	0,001	-7,25	0,001	-2,85	0,05
13	-2,66	0,01	-7,73	0,001	-5,07	0,001
14	—	—	-4,43	0,001	—	—
15	—	—	-4,25	0,001	—	—
16	—	—	-3,95	0,001	—	—
Девочки						
8	-1,14	—	-1,21	—	-0,07	—
9	+0,32	—	-2,21	0,01	-2,53	0,01
10	-0,16	—	-2,25	0,05	-2,09	—
11	-1,12	—	-2,02	0,05	-0,90	—
12	-2,54	0,01	-4,63	0,001	-2,09	—
13	-1,82	0,05	-4,19	0,001	-2,37	0,05
14	—	—	+0,56	—	—	—
15	—	—	+0,99	—	—	—
16	—	—	+1,31	—	—	—

Статистически значимо выше показатели ОГК у современных городских мальчиков (рис. 3, табл. 3) по сравнению с данными 1973 г. только в 11, 12 и 13 лет ($p < 0,01–0,001$). При этом в группах 8-, 14-, 15-летних школьников прослеживалась обратная тенденция. Девочки первой группы в возрастном диапазоне 14–16 лет по показателям ОГК значимо ($p < 0,001$) опережали своих сверстниц, обследованных в начале XXI в.

У мальчиков, обследованных в 1994–1996 гг., показатели ОГК статистически значимо ($p < 0,05$) были выше по сравнению с современными школьниками только в 9 лет, а также выше (см. табл. 3) по сравнению со сверстниками первой группы в 9 и 13 лет ($p < 0,01$, $p < 0,001$).

Сравнивая средние величины ОГК девочек второй группы с данными 1973 года и современными школьниками, статистически значимые различия выявлены только среди 12-летних школьниц (см. табл. 3).

Максимальное увеличение ОГК у мальчиков первой группы зафиксировано от 13 до 15 лет, а у современных школьников – на один год позже (от 15 до 16 лет). Среди девочек, обследованных в 2010–2012 гг., максимальные приросты ОГК выявлены в возрастном диапазоне 11–13 лет, что на 1 год раньше по сравнению со сверстницами из первой группы.

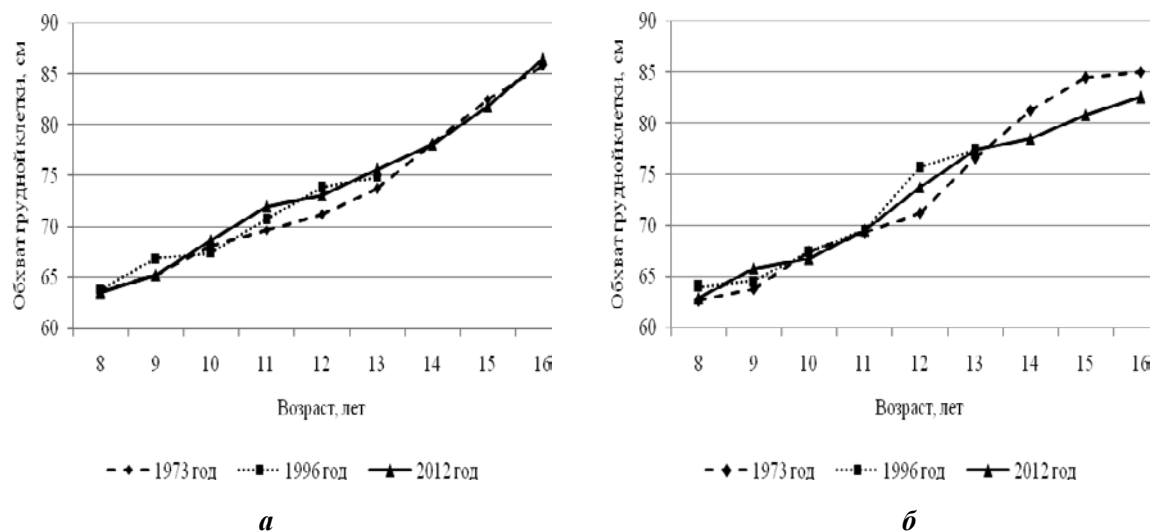


Рисунок 3 — Динамика средних показателей обхвата грудной клетки у городских мальчиков (а) и девочек (б), обследованных в 1973, 1994–1996 и 2010–2012 гг.

Таблица 3
Различия показателей обхвата грудной клетки, вычисленные для мальчиков и девочек в возрастном интервале 8–16 лет относительно показателей их сверстников, обследованных в г. Гомеле в 1973, 1994–1996 и 2010–2012 гг.

Возраст, лет	Различия между данными 1973 и 1994–1996 гг.		Различия между данными 1973 и 2010–2012 гг.		Различия между данными 1994–1996 и 2010–2012 гг.	
	см	p <	см	p <	см	p <
Мальчики						
8	-0,14	—	+0,11	—	+0,25	—
9	-1,60	0,01	+0,02	—	+1,62	0,05
10	+0,58	—	-0,62	—	-1,20	—
11	-1,10	—	-2,34	0,001	-1,24	—
12	-2,72	0,001	-1,98	0,01	+0,74	—
13	-1,18	—	-1,92	0,01	-0,74	—
14	—	—	+0,10	—	—	—
15	—	—	+0,66	—	—	—
16	—	—	-0,58	—	—	—
Девочки						
8	-1,30	—	-0,26	—	+1,04	—
9	-0,80	—	-2,02	0,05	-1,22	—
10	-0,02	—	+0,72	—	+0,74	—
11	-0,24	—	-0,17	—	+0,07	—
12	-4,52	0,001	-2,53	0,001	+1,99	0,05
13	-0,80	—	-0,77	—	+0,03	—
14	—	—	+2,72	0,001	—	—
15	—	—	+3,61	0,001	—	—
16	—	—	+2,50	0,001	—	—

Общий прирост ОГК в пределах исследованного возрастного периода у мальчиков, обследованных с 40-летним интервалом, был примерно одинаковым и составлял 22,22 см в 1973 г., и 22,91 см в 2010–2012 гг. (см. табл. 3). Общий прирост ОГК у девочек, обследованных в 1973 г., был больше на 2,76 см по сравнению с их современными сверстницами третьей группы.

Таким образом, показатели ОГК у современных городских мальчиков только в начале периода полового созревания (11–13 лет) были выше по сравнению с данными 1973 г. У девочек, обследованных в начале XXI в., средние значения ОГК были ниже по сравнению с данными 1973 г. в 14–16 лет.

Выявленные нами закономерности по изменению во времени морфометрических показателей современных школьников г. Гомеля согласуются с данными полученными другими учеными [1, 4, 10, 13, 14], что подтверждает гипотезу об общих закономерностях изменений показателей ФР современных школьников в различных регионах мира.

Динамика во времени функциональных показателей. В результате проведенного сравнительного анализа показателей кистевой и становой динамометрии установлено, что современные городские мальчики и девочки в возрастном интервале от 7 до 16 лет (практически во всех половозрастных группах) имели статистически значимо ($p < 0,05-0,001$) более низкие значения показателей силы мышц кисти левой и правой рук (табл. 4), а также показателей становой силы, чем их сверстники, обследованные в 1989–1990 гг. При этом значимость различий увеличивалась от 7 к 16 годам.

Таблица 4

Статистические параметры ($M \pm SD$) показателей кистевой динамометрии (кг) у городских школьников Беларуси 7–16 лет в 1989–1990 и 2010–2012 гг.

Возраст, лет	Сила мышц кисти правой руки		Сила мышц кисти левой руки	
	Г. Ф. Беренштейн с соавт. (Витебск, 1989–1990)	Собственные данные (Гомель, 2010–2012)	Г. Ф. Беренштейн с соавт. (Витебск, 1989–1990)	Собственные данные (Гомель, 2010–2012)
Мальчики				
7	13,6±3,1**	10,33±2,35	11,3±3,2**	8,93±1,86
8	13,8±3,2*	12,68±2,56	12,2±2,1*	11,08±2,50
9	15,9±3,0**	13,44±2,84	14,3±4,0**	12,23±2,26
10	22,5±7,3***	14,75±3,94	20,3±7,6***	13,92±3,52
11	24,1±6,3***	17,76±4,00	23,1±5,3***	15,91±3,39
12	28,6±5,0***	18,98±4,52	28,1±4,2***	16,87±4,15
13	34,0±6,1***	23,10±6,02	31,0±5,3***	20,53±5,25
14	39,7±7,6***	27,17±6,93	36,9±7,5***	24,08±6,90
15	48,3±6,7***	32,86±7,59	44,3±5,5***	29,89±6,83
16	53,3±5,5***	38,02±6,84	49,3±9,3***	33,89±7,16
Девочки				
7	10,7±3,2*	9,09±2,40	9,7±2,5*	8,12±2,16
8	11,3±3,2*	10,13±2,52	10,5±3,35**	8,47±2,05
9	12,5±3,3	12,41±3,03	11,6±2,92*	10,24±2,71
10	14,6±4,6*	13,13±2,72	12,8±3,3	11,40±2,76
11	18,3±3,4**	15,01±4,11	16,5±3,1*	13,68±3,74
12	20,5±4,8*	17,53±4,92	20,1±4,8***	15,07±4,22
13	24,4±4,2**	20,59±4,12	22,2±4,6**	18,21±4,13
14	27,8±4,95**	22,06±5,18	24,3±5,35**	19,23±4,65
15	31,2±4,4***	24,25±4,53	28,0±4,3***	21,09±4,07
16	32,5±4,3***	25,53±4,87	31,6±4,3***	22,23±4,62

Примечание: здесь и в табл. 5, 6: *— $p < 0,05$; **— $p < 0,01$; ***— $p < 0,001$.

Анализируя динамику во времени показателей систолического и диастолического артериального давления у городских школьников 7–17 лет (табл. 5) выявлено, что современные городские мальчики и девочки в возрастном интервале от 7 до 17 лет имеют более высокие значения уровня САД и ДАД.

Таблица 5

Статистические параметры ($M \pm SD$) уровня систолического и диастолического артериального давления (мм рт. ст.) у городских школьников Беларуси 7–17 лет в 1992–1994 и 2010–2012 гг.

Возраст, лет	Систолическое артериальное давление		Диастолическое артериальное давление	
	Г. Ф. Беренштейн с соавт. (Витебск, 1992–1994)	Собственные данные (Гомель, 2010–2012)	Г. Ф. Беренштейн с соавт. (Витебск, 1992–1994)	Собственные данные (Гомель, 2010–2012)
Мальчики				
7	97,20±9,50	101,81±11,06*	53,60±7,80	62,46±10,10***
8	101,80±8,30	105,61±10,49*	59,60±7,40	66,74±10,41***
9	101,00±6,40	106,08±9,11**	58,20±6,40	64,53±7,79***
10	101,90±7,00	106,47±8,13**	58,80±5,20	65,56±7,22***
11	105,80±6,40	108,31±8,84*	63,40±7,30	66,06±8,17*
12	102,80±7,90	108,44±10,77**	61,10±8,80	65,39±7,49**
13	108,60±7,60	110,46±9,41	63,10±6,70	66,21±8,58*
14	111,10±8,00	114,34±9,57*	65,20±7,20	68,39±8,05*
15	114,10±9,10	115,64±8,22	69,70±7,30	70,24±7,58
16	116,40±11,10	117,35±10,36	71,00±7,40	71,13±8,02
17	117,80±10,80	120,51±9,75	71,50±8,30	74,69±7,80*

Возраст, лет	Систолическое артериальное давление		Диастолическое артериальное давление	
	Г. Ф. Беренштейн с соавт. (Витебск, 1992–1994)	Собственные данные (Гомель, 2010–2012)	Г. Ф. Беренштейн с соавт. (Витебск, 1992–1994)	Собственные данные (Гомель, 2010–2012)
Девочки				
7	96,70±7,70	102,62±11,03**	53,60±9,60	62,92±9,31***
8	100,00±8,80	101,58±8,58	57,80±7,60	62,13±7,19*
9	99,60±6,60	103,26±8,64*	56,50±5,70	64,36±7,50***
10	100,80±6,80	107,44±7,96***	57,80±5,10	65,13±8,39***
11	103,20±7,00	108,77±10,55**	62,00±8,00	65,94±8,03*
12	104,20±10,00	108,08±9,58*	63,80±8,00	65,16±7,60
13	107,20±9,80	110,38±9,84*	61,60±7,80	67,76±8,06**
14	107,90±7,30	112,33±9,27**	63,90±7,30	67,98±7,75*
15	111,10±7,30	112,37±8,66	67,40±5,50	67,85±7,12
16	112,50±8,20	112,51±10,46	68,50±5,50	67,82±7,45
17	111,90±8,30	113,29±8,85	67,90±5,20	70,05±7,56*

При этом статистически значимо ($p < 0,05–0,001$) показатели САД выше у мальчиков, обследованных в 2010–2012 гг. по сравнению с ровесниками, обследованными в 1992–1994 гг. (см. табл. 5) в возрастных группах 7–12 лет и в 14 лет, а показатели ДАД – в 7–14 и 17 лет ($p < 0,05–0,001$).

Уровень САД у современных городских девочек был статистически значимо выше (см. табл. 5) в 7 лет и 9–14 лет, ДАД – с 7 до 11 лет, в 13, 14 и 17 лет ($p < 0,05–0,001$).

Увеличение уровня АД у современных городских школьников, возможно, является компенсаторным механизмом организма на увеличение ДТ у школьников, обследованных в 2010–2012 гг. по сравнению с данными полученными 40 лет назад.

В результате проведенного сравнительного анализа показателей жизненной емкости легких у городских школьников 7–16 лет установлено, что современные городские мальчики и девочки в возрастном интервале от 7 до 16 лет (практически во всех половозрастных группах) имели статистически значимо ($p < 0,05–0,001$) более низкие показатели жизненной емкости легких, чем школьники, обследованные в 1989–1990 гг. При этом значимость различий увеличивалась от 7 к 16 годам (табл. 6).

Таблица 6

Статистические параметры ($M \pm SD$) показателей жизненной емкости легких (л) у городских школьников Беларуси 7–16 лет в 1989–1990 и 2010–2012 гг.

Возраст, лет	Г. Ф. Беренштейн с соавт. (Витебск, 1989–1990)	Собственные данные (Гомель, 2010–2012)
Мальчики		
7	1,65±0,21**	1,49±0,22
8	1,83±0,19**	1,70±0,22
9	2,18±0,32**	1,72±0,28
10	2,14±0,15**	1,94±0,29
11	2,24±0,48	2,16±0,39
12	2,70±0,41***	2,31±0,38
13	2,98±0,46***	2,67±0,55
14	3,55±0,65***	3,02±0,65
15	4,10±0,60***	3,39±0,51
16	4,65±0,46***	3,79±0,59
Девочки		
7	1,57±0,18*	1,42±0,25
8	1,64±0,19**	1,48±0,23
9	1,80±0,31	1,76±0,27
10	1,85±0,26	1,84±0,26
11	2,16±0,31	2,03±0,34
12	2,32±0,36*	2,14±0,41
13	2,70±0,36**	2,47±0,39
14	2,92±0,49**	2,60±0,42
15	3,07±0,36**	2,69±0,45
16	3,17±0,36**	2,88±0,43

Выводы

Проведенный сравнительный анализ половозрастной динамики морфометрических показателей у школьников от 8 до 16 лет г. Гомеля за временной период с 1973 г. по 2010–2012 гг. выявил в начале XXI в. наличие процесса акселерации (увеличение длины и массы тела) у мальчиков и астенизации (увеличение длины тела при снижении его массы) у девочек. Показатели ОГК до вступления в период полового созревания и после его завершения у современных мальчиков и девочек были ниже, а в пубертатный период – выше, чем у обследованных 40 лет назад сверстников.

Максимальные приросты показателей ДТ, МТ, ОГК у современных девочек выявлены в более раннем возрасте по сравнению с данными полученными 40 лет назад. Такая закономерность была выявлена у мальчиков только по значениям ДТ. Общий прирост ДТ в пределах изучаемого возрастного диапазона у современных мальчиков и девочек выше по сравнению с данными 1973 г., а показатели МТ и ОГК больше только у мальчиков.

Сравнительный анализ функциональных показателей современных городских школьников с данными их сверстников, обследованных в конце XX в. позволил установить снижение у современных мальчиков и девочек силовых качеств скелетной мускулатуры, жизненной емкости легких и увеличение уровня систолического и диастолического артериального давления. Повышение уровня АД у современных городских школьников, возможно, является компенсаторной реакцией организма на увеличение их длины и массы тела.

В результате проведенной работы разработаны, изданы и внедрены в учебный процесс и практическое здравоохранение Беларуси таблицы оценки морфофункциональных показателей физического развития городских школьников [6].

Список литературы

1. Антонова, А. А. Сравнительная характеристика физического развития детей / А. А. Антонова, С. Н. Ченцова, В. Г. Сердюков // Астраханский медицинский журнал. – 2012. – Т. 7, № 4. – С. 26–29.
2. Баранов, А. А. Исследования физического развития детей и подростков в популяционном мониторинге: руководство для врачей / А. А. Баранов, В. Р. Кучма. – М., 1999. – 226 с.
3. Гланц, С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц; пер. с англ. Ю. А. Данилова. – М.: Практика, 1999. – 459 с.
4. Година, Е. З. Секулярный тренд: история и перспективы / Е. З. Година // Физиология развития человека: Междунар. конф., Москва 22–24 июня 2009 г. – М., 2009. – С. 30–31.
5. Леонтьев, В. Я. Таблицы оценки физического развития детей школьного возраста / В. Я. Леонтьев // Гомельский областной отдел здравоохранения. – 1973. – 30 с.
6. Мельник, В. А. Морфофункциональные показатели физического развития школьников в перипубертатный период: монография / В. А. Мельник. – Гомель: ГомГМУ, 2014. – 248 с.
7. Морфофункциональные константы детского организма: справочник / В. А. Доскин [и др.]; под общ. ред. В. А. Доскина. – М.: Медицина, 1997. – 288 с.
8. О некоторых итогах работы над темой «Разработать нормативные шкалы физического развития детей и подростков Республики Беларусь» / Л. И. Тегачо [и др.] // Актуальные вопросы антропологии: сб. науч. тр. / Ин-т истории НАН Беларуси; под ред. Л. И. Тегачо. – Минск, 2008. – Вып. 3. – С. 30–43.
9. Показатели артериального давления у городских школьников Витебской области / Г. Ф. Беренштейн [и др.] // Здравоохранение Беларуси. – 1995. – № 7. – С. 25–28.
10. Сравнительный ретроспективный анализ физического и биологического развития школьников Москвы. / В.Р. Кучма [и др.] // Гигиена и санитария. — 2012. — № 4. — С. 47–52.
11. Тегачо, Л. И. Практическая антропология: учеб. пособие / Л. И. Тегачо, О. В. Марфина. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 320 с.
12. Физическое развитие школьников Витебска за последние 15 лет / Г. Ф. Беренштейн [и др.] // Здравоохранение Белоруссии. – 1991. – № 12. – С. 33–37.
13. Kim, J. Y. Anthropometric Changes in Children and Adolescents from 1965 to 2005 in Korea. / J. Y. Kim // Am. J. Phys. Anthropol. – 2008. – Vol. 136. – Pp. 230–236.
14. Marques-Vida, P. Secular trends in height and weight among children and adolescents of the Seychelles, 1956–2006 / P. Marques-Vida // BMC Publ. Health. – 2008. – Vol. 8. – P. 166.
15. Roche, A. F. Growth, maturation, and body composition the Fels Longitudinal Study 1929–1991 / A. F. Roche // Cambridge Studies in Biological Anthropology 9; eds.: G.W. Lasker [et al.]. – Cambridge; New York: Cambridge Univ. Press, 1992. – Pp. 120–156.

V. A. Melnik

**THE MORPHOFUNCTIONAL INDICATORS TIME CHANGES
OF PHYSICAL DEVELOPMENT AMONG URBAN SCHOOLCHILDREN**

The article presents the results of a comparative analysis of age and gender dynamics in morphological and functional indicators of the urban schoolchildrens physical development in the period from 70–80s of the 20th century till 2010–2012. It was defined that the acceleration among modern urban schoolchildren of Belarus being developed in the length and weight increase of boys and asthenization (body length increase while reducing its weight) among girls. Compared with peers being surveyed more than 20 years ago modern urban schoolchildren of Belarus are characterized by lower indicators of skeletal muscle power qualities, lung capacity and high indicators of blood pressure.

В. П. Курчин, Р. М. Смолякова, А. В. Бамбиза, В. А. Матусевич

РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова, г. Минск, Республика Беларусь

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПЛОСКОКЛЕТОЧНОГО РАКА ЛЕГКОГО

В статье проанализирован молекулярно-генетический профиль плоскоклеточного рака легкого. Отмечено, что амплификация, мутации и экспрессия онкогенов и генов-супрессоров могут использоваться для диагностики, стратификации на группы риска и прогнозирования течения заболевания.

➤ **Ключевые слова:** мутации, экологические условия, плоскоклеточный рак легкого, амплификация, экспрессия, прогнозирование.

Введение

Ухудшение экологических условий является важнейшей причиной увеличения числа онкологических заболеваний. Возникновение и развитие рака легкого (РЛ) является результатом аккумуляции ряда генетических и эпигенетических изменений, включая инактивацию генов-супрессоров опухолевого роста и активацию онкогенов, нарушения в работе сигнальных путей, приводящих к потере контроля над клеточным циклом, уклонению от апоптоза, активации ангиогенеза, инвазивному росту и метастазированию [1, 2, 3].

При раке легкого часто наблюдаются множественные хромосомные повреждения, сопровождающиеся потерей или увеличением генетического материала в хромосомах, что свидетельствует о геномной нестабильности в опухолевых клетках.

Потеря хромосомных локусов, содержащих гены-супрессоры опухолевого роста, происходит в результате делеции короткого плеча 3-й хромосомы (гены FHIT, RASSF1, TUSC2, SEMA3B, SEMA3F и MLH1), 9-й хромосомы (CDKN2) и 17-й хромосомы (TP53), а также длинного плеча 5-й (APC) и 13-й хромосом (RB1) [4, 5, 6].

На геномном уровне при раке легкого выявляются сотни соматических мутаций, однако лишь небольшое число из них являются драйверными, проявляясь с большей или меньшей частотой в зависимости от гистологического типа рака легкого и формируя специфический профиль генетических повреждений для каждого из них.

Для плоскоклеточного рака легкого характерны активация онкогенов SOX2, FGFR1, PI3KCA, EGFR и DDR2, и подавление активности генов-супрессоров опухоли TP53 и p16^{INK4a} [7, 8].

Транскрипционный фактор SOX2 играет важную роль в поддержании эмбриональных клеток и индукции плюропотентных клеток из дифференцированных [9]. Амплификация гена SOX2 наблюдается в 20% плоскоклеточного рака и отсутствует в аденокарциноме [10].

Ген FGFR1 кодирует рецептор тиразинкиназы, вовлеченный в регуляцию клеточной пролиферации через активацию MAPK и PI3K сигнальных путей. Амплификация гена FGFR1 наблюдается в 22% при плоскоклеточном раке и отсутствует в других гистологических типах рака легкого [11].

DDR2 кодирует рецептор тиразинкиназы, активация которого приводит к клеточной пролиферации и миграции. Мутации DDR2 наблюдаются при плоскоклеточном раке с частотой 3,8% [12]. Амплификация FGFR1 и мутации DDR2 могут явиться важными мишенями для таргетной терапии плоскоклеточного рака легкого.

Мутации гена PI3KCA, кодирующего каталитическую субъединицу фосфатидилинозитол-3-киназы, наблюдаются в 3% случаев немелкоклеточного рака легкого (НМРЛ) и более характерны для плоскоклеточного рака. Гораздо чаще, в 30% случаев, имеет место амплификация гена [13]. Эти изменения вызывают активацию внутриклеточного сигнального пути PI3K/АКТ, приводящей к угнетению апоптоза. АКТ1 ген кодирует протеинкиназу В, участвующей в передаче сигнала по PI3K/АКТ пути. Миссенс мутация E17K в этом гене также активирует PI3K-путь. Эти мутации выявляются в 1–7% плоскоклеточного РЛ и отсутствуют в аденокарциноме [14, 15]. Ингибиторы PI3K и АКТ1 проходят в настоящее время клинические испытания.

Ген-супрессор опухоли PTEN является негативным регулятором PI3K/АКТ пути. Инактивация гена в результате мутаций отмечается в 10–15% случаев плоскоклеточного рака [16, 17] и только в 1,7% аденокарцином [17].

Сигнальный путь NRF2/KEAP1 играет главную роль в защите клеток от оксидантов, электрофильных и генотоксических соединений, а также в развитии резистентности к химиотерапевтическим

препаратам [18]. Транскрипционный фактор NRF2 стимулирует экспрессию генов, кодирующих антиоксиданты и ферменты биотрансформации ксенобиотиков. Протеин KEAP1 подавляет активность NRF2, связываясь с ним, с последующим убиквитинированием NRF2 и протеасомальной деградацией [19]. Гиперэкспрессия NRF2 способствует опухолевому росту и резистентности к химиотерапии. Высокий уровень NRF2 в ядрах опухолевых клеток может быть результатом как активирующих мутаций в гене, так и мутаций с потерей функции в гене KEAP1. Мутации в NFE2L2 встречаются в 7–19% исключительно в плоскоклеточном раке. Мутации в гене KEAP1 более характерны для аденокарциномы, а в плоскоклеточном раке отмечаются в 3–12% [20, 21].

Мутации в гене EGFR, за исключением мутации EGFRvIII, редко выявляются в плоскоклеточном раке. В серии из 178 опухолей активирующие мутации в гене EGFR были выявлены только в 2 случаях (1,2%) [16]. Мутация EGFR вариант III возникает в результате делеции внутри рамки считывания 2–7 экзонов и наблюдается преимущественно в плоскоклеточном раке с частотой 3–5% [21]. При этой мутации отмечается резистентность к ингибиторам тирозинкиназы EGFR и чувствительность к ингибитору рецепторов ERR нератинибу [22, 23].

Сигнальный путь NOTCH играет важную роль в течение эмбриогенеза и во взрослом организме, участвуя в таких функциях как поддержание стволовых клеток, определение судьбы клеток, пролиферация и апоптоз [24]. В процессе канцерогенеза гены сигнального пути NOTCH (NOTCH1, NOTCH2, NOTCH3 и NOTCH4) в зависимости от клеточного окружения могут выступать как онкогенами, так и супрессорами опухолевого роста [25]. Функциональная активность этого пути при немелкоклеточном раке оценивается неоднозначно. В исследовании The Cancer Genome Atlas Research Network [16] в 13% плоскоклеточного рака легкого были выявлены мутации потери функции в генах NOTCH1, NOTCH2, что свидетельствует о потенциальной роли сигнального пути NOTCH как супрессора опухолевого роста при плоскоклеточном раке.

Ген CDKN2A является супрессором опухолевого роста и кодирует два протеина: p16^{INK4A} и p14^{ARF}, участвующих в сигнальных путях p53 и RB1, которые регулируют клеточный цикл [26]. p14^{ARF} взаимодействует с протеином MDM2, негативным регулятором транскрипционной активности p53, снижает его убиквитин-лигазную активность и способствует стабилизации p53. p16^{INK4A} блокирует циклин-зависимые киназы Cdk4 и Cdk6, регулирующие G1-фазу клеточного цикла, приводя к аресту клеточного цикла в ответ на неблагоприятные внешние условия и повреждения ДНК [27]. Подавление экспрессии CDKN2A приводит к утрате контроля над клеточным циклом и развитию рака. Инактивация этого гена вследствие эпигенетического сплайсинга, точковых и хромосомных мутаций наблюдается в 72% случаев плоскоклеточного рака легкого [16].

Наибольшая частота мутаций при плоскоклеточном раке отмечается в гене TP53 и составляет от 57% до 81% [16, 28]. TP53 – ген-супрессор опухолей, кодирующий белок p53. Этот транскрипционный фактор участвует во многих важнейших биологических процессах, включая репарацию ДНК, контроль клеточного цикла, апоптоз и старение. Мутации в гене TP53 приводят к подавлению супрессорной функции гена в результате потери способности p53 связываться с ДНК и вызывать транскрипцию генов-мишеней [29]. Также, мутации в TP53 могут сопровождаться экспрессией мутантного p53, проявляющего онкогенную активность и инактивирующего p53 дикого типа [30]. TP53-мутации являются мишенью для разработки методов ген-заместительной и таргетной терапии [31].

В 19% случаев плоскоклеточного рака легкого выявляется амплификация гена TP63 [16], играющего важную регуляторную роль в процессах морфогенеза и дифференцировки клеток [32]. Амплификация гена приводит к гиперэкспрессии ΔN-изоформы протеина p63, которая ослабляет супрессорный эффект TA-изоформы p63 и, таким образом, стимулирует опухолевый рост [33].

Ген ретинобластомы 1 (Rb1) является одним из ключевых регуляторов клеточного цикла. Инактивирующие мутации в гене приводят к потере контроля над клеточным делением [34]. При плоскоклеточном раке легкого мутации в Rb1 отмечены в 7% случаев [16].

Впервые в исследовании Network в 3% случаев плоскоклеточного рака были выявлены инактивирующие мутации в гене HLA-A, кодирующем человеческий лейкоцитарный антиген А (HLA-A). HLA-A является частью главного комплекса гистосовместимости и обеспечивает распознавание клеток-мишеней активированными Т-лимфоцитами [35]. Эти мутации в гене HLA-A свидетельствуют в пользу возможного механизма уклонения опухолевых клеток от иммунной деструкции. Также, в этом исследовании были выявлены значительные мутации в гене в 20% случаев плоскоклеточного рака. MLL2 относится к семейству генов, кодирующих гистон-лизин N-метилтрансферазу. Функциональная роль этих мутаций в канцерогенезе пока остается неясной [36].

Амплификация гена ERBB3, принадлежащего к семейству рецепторов тирозинкиназ, отмечается в 37% при плоскоклеточном раке легкого [16]. Гиперэкспрессия гена может играть роль в развитии резистентности к лучевой терапии [37].

Материалы и методы исследования

В основу работы положены данные исследования 78 пациентов с плоскоклеточным раком легкого. Все пациенты получали специальное лечение в ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова». Диагноз у всех пациентов установлен на основании рентгенологического, эндоскопического, клинического обследования и подтвержден морфологически. Средний возраст пациентов составил $56,1 \pm 5,5$ лет.

Изучение экспрессии в опухолевой ткани антигенов p53, Ki-67, Vax, EGFR, Her-2/neu осуществлялось иммуногистохимическим методом с использованием системы визуализации EnVision, моноклональных и поликлональных антител фирмы-производителя «Дакко» (Дания) с постановкой положительного и отрицательного контролей.

Метилирование промотора гена p16ink4A в опухолевой ткани определяли методом метил-специфической ПЦР на амплификаторе «IQ5 Cycler» (BIO-RAD, США) с детекцией продуктов амплификации в агарозном геле.

Исследование экспрессии гена ERCC1 проводили методом ПЦР в режиме реального времени. Выделение РНК осуществлялось из свежемороженой опухолевой ткани пациентов, страдающих плоскоклеточным раком легкого, с использованием набора реагентов для выделения РНК RNAqueous Kit (Ambion, США) согласно инструкции. Концентрацию и чистоту выделенной РНК проверяли спектрофотометрически, после чего ставили реакцию обратной транскрипции. Реакция амплификации проводилась на амплификаторе «ABI 7300». Для исключения ингибирования использовалась только моноплексная ПЦР. В качестве пассивного контроля использовался краситель ROX.

Статистический анализ полученных результатов выполнен с использованием компьютерных пакетов статистических программ STATISTICA (версия 8.0, «StatSoft», США) [217], Excel 2007 («Microsoft Office»), MedCalc (версия 12.2.1, «MedCalc Software», Бельгия).

Результаты и их обсуждение

Экспрессию пролиферативного антигена Ki-67 и мутантного онкопротеина p53 определяли у 97,3% пациентов. При анализе зависимости пролиферативной активности опухоли у исследуемых пациентов от экспрессии p53 установлено, что высокая пролиферация опухоли при плоскоклеточном раке в большинстве случаев сочеталась с экспрессией p53.

При иммуногистохимической оценке опухолевых клеток у изучаемой категории пациентов выявлена экспрессия супрессорного мутантного протеина p53 в 49,5% случаев. Результаты проведенных исследований показали, что слабая позитивная экспрессия мутантного онкопротеина p53 обнаружена у 9,1% пациентов, умеренная экспрессия – 14,5%, гиперэкспрессия мутантного онкопротеина – у 23,6%.

Экспрессия p53 в опухолевой ткани легкого коррелировала с ядерным антигеном пролиферативной активности Ki-67 ($R = 0,3989$; $p < 0,05$; анализ корреляции по Спирману) и с проапоптотическим антигеном Vax ($R = 0,2742$; $p < 0,05$). Гиперэкспрессия p53 чаще выявлялась в опухолях умеренной степени злокачественности (76,7%), чем высокодифференцированных (50%).

При оценке пролиферативной активности опухолевых клеток (рис. 1) установлена положительная реакция по Ki-67 у 52 (48,6%) пациентов с плоскоклеточным раком легкого. Высокой пролиферативной активностью обладали 20,6% опухолей от общего их количества.

Экспрессия Ki-67 в опухолевой ткани легкого коррелировала со степенью дифференцировки ($R = -0,1927$; $p < 0,05$), стадией опухолевого процесса ($R = -0,2055$; $p < 0,05$), рецептором эпидермального фактора роста EGFR ($R = 0,2265$; $p < 0,05$). Гиперэкспрессия Ki-67 чаще (61,7%) выявлялась в опухолях с умеренной степенью дифференцировки.

При анализе бессобытийной выживаемости установлено, что в 56% случаев при уровне экспрессии пролиферативного маркера Ki-67 более 20% констатирован неблагоприятный исход заболевания.

Таким образом, при анализе полученных данных установлена прямая корреляционная зависимость ($r = 0,3$; $p = 0,002$) пролиферативной активности опухоли и прогрессированием опухолевого процесса. Высокая пролиферативная активность опухоли является неблагоприятным прогностическим признаком прогрессирования опухолевого процесса.

У пациентов с плоскоклеточным раком легкого экспрессия рецептора эпидермального фактора роста EGFR в 3+ балла обнаружена в 12,1% случаев, 2+ балла – в 10,3%, 1+ балл – в 27,1%. Отрицательный результат получен в 50,5% случаев. Прогрессирование заболевания при отрицательном уровне EGFR наблюдалось в 18,5%, при низком – в 17,2%, при умеренном в 18,1%, при выраженном – у 15,3% пациентов. Влияния экспрессии рецептора эпидермального ростового фактора на бессобытийную выживаемость не выявлено.

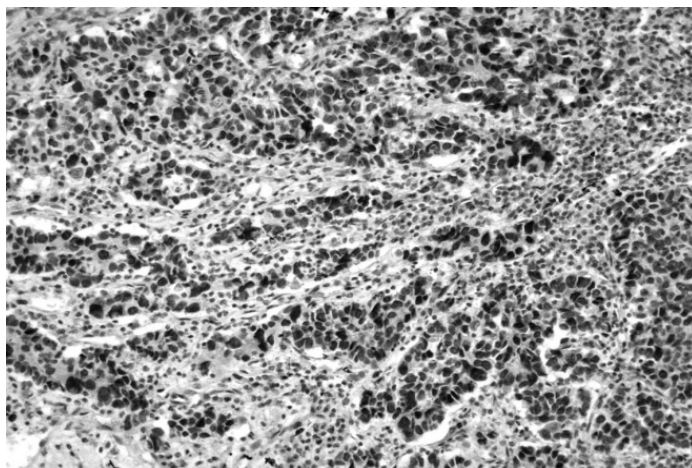


Рисунок 1 – Ядерная экспрессия маркера пролиферации Ki-67 у пациентов с плоскоклеточным раком легкого

Экспрессия EGFR в опухолевой ткани легкого коррелировала с ядерным антигеном пролиферативной активности Ki-67 ($r = 0,2$; $p < 0,05$; анализ корреляции по Спирману).

Гиперэкспрессия в опухоли тканевого антигена Her-2/neu относится к важным прогностическим маркерам и определяет более частое рецидивирование, снижение показателя выживаемости у пациентов с впервые выявленным злокачественным поражением. Данные о статусе рецептора Her-2/neu способствуют принятию оптимального решения при выборе схем адьювантной терапии и прогнозированию ее эффективности. Согласно данным литературы, полисомия хромосомы 17 – важный клинический маркер, а ее наличие ассоциируется с метастатическим поражением лимфатических узлов и рядом других факторов неблагоприятного прогноза.

Анализ проведенных исследований статуса Her-2/neu выявил высокую частоту полисомии хромосомы 17.

Анализ полученных данных показал, что из 18 пациентов с плоскоклеточным раком легкого, которым выполнено определение статуса Her-2/neu, у 7 (38,9%) выявлена полисомия хромосомы 17 (рис. 2). В ходе проведенных исследований установлено, что наличие полисомии хромосомы 17 сопряжено с прогрессированием и/или неблагоприятным исходом основного заболевания.

Таким образом, появление дополнительных копий хромосомы 17 может служить предиктивным маркером прогрессирования опухолевого процесса и/или неблагоприятного исхода заболевания.

Выявление гиперметилирования промотора гена p16INK4 было проведено у 25 пациентов с плоскоклеточным раком легкого. У 10 пациентов детектировано гиперметилирование гена p16INK4. Согласно проведенным исследованием, в преобладающем большинстве случаев метилирование гена p16INK4 диагностировано у пациентов со II стадией заболевания и умеренной степенью дифференцировки опухоли. Определение промоторного гиперметилирования p16INK4 сопряжено с инициацией развития и прогрессирования плоскоклеточного рака легкого.

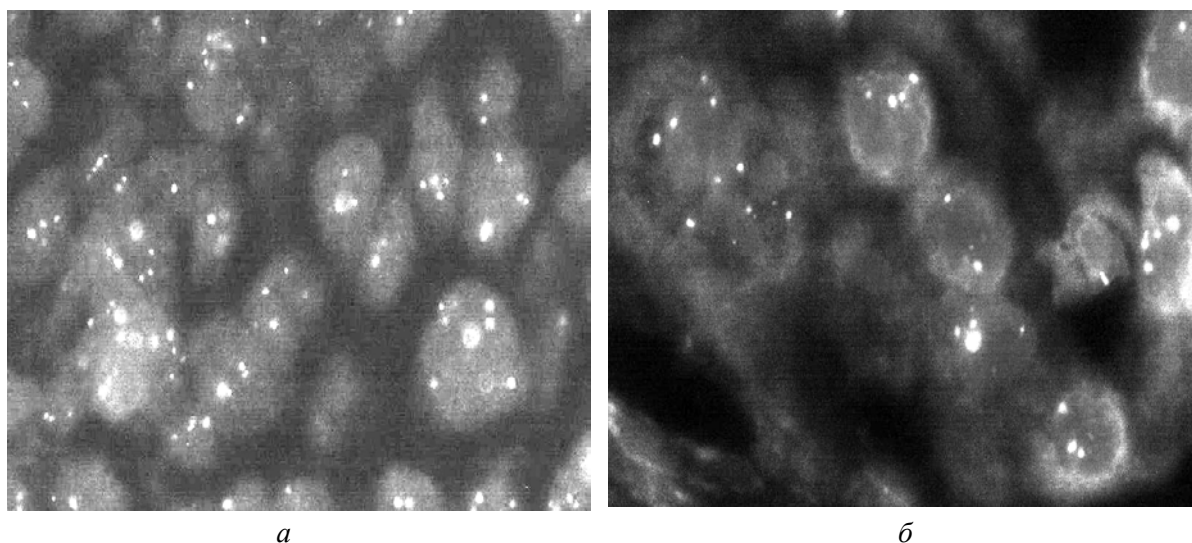


Рисунок 2 – Полисомия хромосомы 17 в опухолевой ткани пациентов: а – нет полисомии, б – есть полисомия

Активация протоонкогена p16INK4A характерна для начальных этапов канцерогенеза и является одним из пусковых сигнальных механизмов интенсивной клеточной пролиферации и подавления апоптотической функции гена p53.

По результатам проведенных молекулярно-генетических исследований отмечено, что уровень экспрессии гена ERCC1 у пациентов с плоскоклеточным раком легкого колебался в пределах от 0,28 до 8365 отн. ед. Полученные данные показали, что у 57,4% пациентов установлен уровень экспрессии равный или менее 160 условных единиц, у 42,6% пациентов диагностирован высокий уровень экспрессии ERCC1. Анализ полученных данных позволил найти достоверные различия в ответе на адъювантную химиотерапию в группах с низким и высоким уровнем экспрессии ERCC1 и ответом на проведение химиотерапии. Опухолевые клетки пациентов с низким уровнем экспрессии ERCC1 являются химиочувствительными в ответ на проведение специального лечения ($p < 0,05$). При этом у пациентов с высоким уровнем экспрессии не наблюдается ответа на проведение химиотерапии. Определение высоких значений уровня экспрессии ERCC1 (более 160 отн. ед.) может служить предиктивным маркером резистентности опухолевых клеток и неблагоприятного прогноза заболевания.

Список литературы

1. Pao, W. New driver mutations in non-small-cell lung cancer / W. Pao, N. Girard // *Lancet Oncol.* – 2011. – Vol. 12. – Pp. 175–180.
2. Hanahan, D. Hallmarks of cancer: the next generation / D. Hanahan, R.A. Weinberg // *Cell.* – 2011. – Vol. 144. – Pp. 646–674.
3. Varella-Garcia, M. Chromosomal and genomic changes in lung cancer / M. Varella-Garcia // *Cell Adh. Migr.* – 2010. – Vol. 4. – Pp. 100–106.
4. Rooney, M. Genomics of Squamous Cell Lung Cancer / M. Rooney, S. Devarakonda, R. Govindan // *Oncologist.* – 2013. – Vol. 18. – Pp. 707–716.
5. Squamous cell carcinoma of the lung: molecular subtypes and therapeutic opportunities / P. Perez-Moreno [et al.] // *Clin. Cancer Res.* – 2012. – Vol. 18. – Pp. 2443–2451.
6. Sex Determining Region Y-Box 2 (SOX2) Is a Potential Cell-Lineage Gene Highly Expressed in the Pathogenesis of Squamous Cell Carcinomas of the Lung / P.Yuan [et al.] // *PLoS ONE.* – 2010. – Vol. 5. – Pp. 9112.
7. Frequent and focal FGFR1 amplification associates with therapeutically tractable FGFR1 dependency in squamous cell lung cancer / J. Weiss [et al.] // *Sci. Transl. Med.* – 2010. – Vol. 2. – Pp. 62–93.
8. Mutations in the DDR2 kinase gene identify a novel therapeutic target in squamous cell lung cancer / P. S. Hammerman [et al.] // *Cancer. Discov.* – 2011. – Vol. 1. – Pp. 78–89
9. PIK3CA mutations and copy number gains in human lung cancers / H. Yamamoto [et al.] // *Cancer Res.* – 2008. – Vol. 68. – Pp. 6913–6921.
10. Clarifying the spectrum of driver oncogene mutations in biomarker-verified squamous carcinoma of lung: lack of EGFR/KRAS and presence of PIK3CA/AKT1 mutations / N. Rekhtman [et al.] // *Clin. Cancer Res.* – 2012. – Vol. 18. – Pp. 1167–1176.
11. Activating E17K mutation in the gene encoding the protein kinase AKT1 in a subset of squamous cell carcinoma of the lung / D. Malanga [et al.] // *Cell Cycle.* – 2008. – Vol. 7. – Pp. 665–669.
12. The Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive genomic characterization of squamous cell lung cancers // *Nature.* – 2012. – Vol. 489. – Pp. 519–525.
13. PTEN mutations and relationship to EGFR, ERBB2, KRAS, and TP53 mutations in non-small cell lung cancers / G. Jin [et al.] // *Lung Cancer.* – 2010. – Vol. 69. – Pp. 279–283.
14. Dysfunctional KEAP1–NRF2 Interaction in Non-Small-Cell Lung Cancer / A. Singh [et al.] // *PLoS Med.* – 2006. – Vol. 3. – Pp. 420.
15. Keap1–Nrf2 pathway: Mechanisms of activation and dysregulation in cancer / E. Kansanen [et al.] // *Redox Biology.* – 2013. – Vol. 1. – Pp. 45–49.
16. Nrf2 and Keap1 Abnormalities in Non-Small Cell Lung Carcinoma and Association with Clinicopathologic Features / L.M. Solis [et al.] // *Clin.Cancer.Res.* – 2010. – Vol. 16. – Pp. 3743–3753.
17. EGFRvIII mutation in lung cancer correlates with increased EGFR copy number / H. Sasaki [et al.] // *Oncol.Rep.* – 2007. – Vol. 17. – Pp. 319–323.
18. Epidermal growth factor receptor variant III mutations in lung tumorigenesis and sensitivity to tyrosine kinase inhibitors / H. Ji [et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2006. – Vol. 103. – Pp. 7817–7822.
19. Therapeutic anti-EGFR antibody 806 generates responses in murine de novo EGFR mutant-dependent lung carcinomas / D. Li [et al.] // *J.Clin. Invest.* – 2007. – Vol. 117. – Pp. 346–352.

20. Leong, K. G. Recent insights into the role of Notch signaling in tumorigenesis / K. G. Leong, A. Karsan // *Blood*. – 2006. – Vol. 107. – Pp. 2223–2233.
21. Lobry, C. Oncogenic and tumor suppressor functions of Notch in cancer: it's NOTCH what you think / C. Lobry, P. Oh, I. Aifantis // *JEM*. – 2011. – Vol. 208. – Pp. 1931–1935.
22. Haber, D. A. Splicing into senescence: the curious case of p16 and p19ARF / D. A. Haber // *Cell*. – 1997. – Vol. 28. – Pp. 555–558.
23. Promoter Hypermethylation and Quantitative Expression Analysis of CDKN2A (p14ARF and p16INK4a) Gene in Esophageal Squamous Cell Carcinoma / S. Ito [et al.] // *Anticancer research*. – 2007. – Vol. 27. – Pp. 3345–3354.
24. Prognostic value of TP53, KRAS and EGFR mutations in nonsmall cell lung cancer: the EUELC cohort / C. Scoccianti [et al.] // *E. R. J.* – 2012. – Vol. 40. – P. 177–184.
25. Bullock, A. N. Rescuing the function of mutant p53 / A. N. Bullock, A. R. Fersht // *Nat. Rev. Cancer*. – 2001. – Vol. 1. – Pp. 68–76.
26. Sigal, A. Oncogenic mutations of the p53 tumor suppressor: the demons of the guardian of the genome / A. Sigal, V. Rotter // *Cancer Res.* – 2000. – Vol. 60. – Pp. 6788–6793.
27. P63, a p53 homolog at 3q27-29, encodes multiple products with transactivating, death-inducing, and dominant-negative activities / A. Yang [et al.] // *Mol. Cell*. – 1998. – Vol. 2. – Pp. 305–316.
28. AIS is an oncogene amplified in squamous cell carcinoma / K. Hibi [et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2000. – Vol. 97. – Pp. 5462–5467.
29. Sekido, Y. Molecular Genetics of Lung Cancer / Y. Sekido, K. M. Fong, J. D. Minna // *Annu. Rev. Med.* – 2003. – Vol. 54. – Pp. 73–87.
30. Delves, P. J. The immune system. First of two parts / P. J. Delves, I. M. Roitt // *N. Engl. J. Med.* – 2000. – Vol. 343. – Pp. 37–49.
31. Rothenberg, S. M. The molecular pathogenesis of head and neck squamous cell carcinoma / S. M. Rothenberg, L. W. Ellisen // *J. Clin. Invest.* – 2012. – Vol. 122. – Pp. 1951–1957.

V. P. Kurchyn, R. M. Smolyakova, A. V. Bambiza, V. A. Matusevich

MOLECULAR GENETIC PROFILING SQUAMOUS LUNG CANCER

In the article we analyzed the molecular genetic profile of squamous cell lung cancer. It is noted that amplification, mutation and expression of oncogenes and tumor suppressor genes can be used for the diagnosis, stratification risk and prognosis of the disease.

Д. Б. Нижегородова¹, А. С. Щеколова², А. И. Зинченко², М. Ю. Юркевич¹,
Г. И. Иванчик³, М. М. Зафранская¹, С. Б. Бокуть¹

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

²ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

³ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования»,
г. Минск, Республика Беларусь

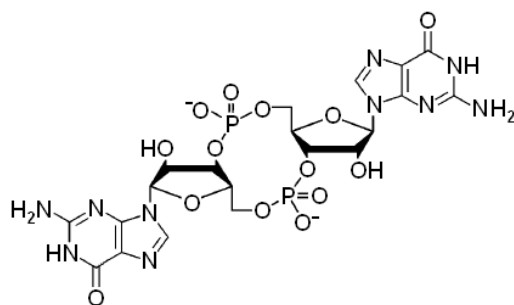
ВЛИЯНИЕ c-di-GMP НА ПРОДУКЦИЮ ИНТЕРФЕРОНА- γ МОНОНУКЛЕАРАМИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ *IN VITRO*

Установлено разнонаправленное влияние c-di-GMP на митоген- и антиген-специфическую продукцию ИФН γ мононуклеарами периферической крови человека, что может быть использовано для разработки принципиально новых терапевтических агентов, лимитирующих неблагоприятное воздействие экологических факторов на формирование иммунологически-обусловленной патологии человека.

► **Ключевые слова:** циклический дигуанилат, интерферон- γ , митоген, миелин-индуцируемая реактивность.

Введение

Бис-(3',5')-циклический димерный гуанозинмонофосфат (c-di-GMP) (рис. 1) представляет собой внутриклеточный вторичный мессенджер, являющийся принципиальной иницирующей молекулой в c-di-GMP-зависимых сигнальных путях реализуемых только у *Bacteria* и *Archea*, но не эукариот, с целью регуляции множества биологических процессов, включая подвижность и адгезию бактериальных клеток, межклеточные коммуникации, синтез экзополисахаридов, формирование биопленок и экспрессию генов вирулентности [1]. Вместе с тем, в исследованиях последних лет установлено, что c-di-GMP способен выступать в роли аллостерического регулятора транспортной функции гемоглобина человека [2]. Показано также, что c-di-GMP может действовать как «сигнал опасности» на эукариотические клетки и проявлять как заметную противоопухолевую активность, ингибируя пролиферацию раковых клеток *in vitro* [3], так и выраженную иммуномодулирующую адьювантную активность в отношении различных бактериальных инфекций [4, 5]. Вдобавок одним из проявлений иммуномодулирующей активности c-di-GMP может служить обнаруженная способность данного соединения влиять на продукцию интерферонов (ИФН) клетками иммунной системы.



c-di-GMP

Рисунок 1 – Структурная формула 3',5'-циклического димерного гуанозинмонофосфата

Известно, что интерферон- γ (ИФН γ) представляет собой один из основных цитокинов, который участвует в регуляции механизмов врожденного и приобретенного иммунитета, клеточного цикла, процессов апоптоза и воспалительной реакции посредством контроля транскрипции широкого спектра генов. Особенную функцию ИФН γ играет в увеличении чувствительности иммунной системы к агонистам инфекционной и опухолевой природы [6].

Цель работы – оценить спонтанную, митоген- и миелин-индуцированную продукцию ИФН γ мононуклеарами периферической крови (МПК) у здоровых доноров в отсутствие и в присутствии различных концентраций c-di-GMP.

Материалы и методы

Материалом для исследования явилась гепаринизированная периферическая венозная кровь здоровых доноров ($n = 5$).

Культуральный метод. МПК выделяли центрифугированием в течение 30 мин при 1500 об/мин и 4 °С в градиенте плотности Histopaque-1077 («Sigma», Германия) с последующей 2-кратной отмывкой в фосфатно-буферном растворе (ФБР, «Gibco», Германия) в течение 10 мин при 1500 об/мин и 4 °С. МПК культивировали в концентрации $2 \cdot 10^5$ клеток/лунку 96-луночного планшета в культуральной среде RPMI-1640 с добавлением 25 мМ HEPES, 2 мМ L-глутамина, 1% антибиотика («Sigma», Германия), 10% инактивированной эмбриональной телячьей сыворотки («Gibco», Германия), в течение 3 дней (при оценке внутриклеточной продукции ИФН γ), в течение 6 и 10 дней (при оценке внеклеточного синтеза ИФН γ , соответственно, при митогенной и миелин-специфической стимуляции) при 37 °С в атмосфере с 5% содержанием CO $_2$. По окончании культивирования супернатанты клеточных культур отбирали в стерильные эппендорфы и замораживали при -70 °С.

Исследуемый образец *c-di-GMP* синтезировали в Институте микробиологии из GTP с использованием рекомбинантной дигуанилатциклазы *Thermotoga maritima* [7] и добавляли в культуру клеток в концентрациях 10^{-6} М, 10^{-5} М, 10^{-4} М. В качестве митогена использовали фитогемагглютинин (ФГА, «Sigma», Германия) в конечной концентрации 2,5 мкг/мл; в качестве миелинового антигена – рекомбинантный миелин-олигодендроцитарный гликопротеин с аминокислотной последовательностью 1-125 (рМОГ, РНПЦ ТиМБ, Беларусь) в конечной концентрации 10 мкг/мл.

Метод проточной цитофлуориметрии. Для количественного определения уровня внутриклеточной продукции ИФН γ за 12 часов до окончания культивирования продукцию цитокина стимулировали путем добавления в культуру МПК форбол 12-миристат 13-ацетата (10 нг/мл) («Sigma», Германия), кальциевой соли иономицина (1 мкг/мл) («Invitrogen», Великобритания) и блокатора внутриклеточного транспорта белков – брэфелдина А (10 мкг/мл) («Invitrogen», Великобритания) с последующим окрашиванием МПК моноклональными антителами к поверхностному маркеру – CD3-PC7 («Beckman Coulter», США) и дальнейшей фиксацией клеток в течение 10 мин 4% раствором параформальдегида в ФБР. После отмывания клеток центрифугированием в ФБР в течение 5 мин при 1500 об/мин, к МПК добавляли моноклональные антитела IFN γ -PE («Beckman Coulter», США). Учет результатов проводили на проточном цитометре FC500 («Beckman Coulter», США) на 50 000 клеточных событий.

Иммуноферментный анализ. Концентрацию ИФН γ , синтезируемого клетками, определяли в клеточных супернатантах митоген-/миелин-стимулированных культур МПК методом иммуноферментного анализа. Для характеристики внеклеточной продукции ИФН γ использовали набор для иммуноферментного анализа «гамма-интерферон-ИФА-БЕСТ» (А-8752, «Вектор-Бест», Россия) в соответствии с рекомендациями изготовителя. Образцы супернатантов культур клеток, а также стандартные и контрольные образцы инкубировали с иммобилизованными на стенках 96-луночного планшета моноклональными антителами к цитокину в течение 120 мин при температуре 37 °С в шейкере. После удаления образцов и тщательного отмывания в лунки добавляли биотинилированные антитела и инкубировали в течение 60 мин при температуре 37 °С в шейкере. Не связавшиеся антитела удаляли 5-кратным отмыванием буферным раствором, добавляли стрептавидин с пероксидазой хрена и инкубировали в течение 30 мин при температуре 37 °С в шейкере. Несвязавшийся конъюгат удаляли 5-кратным отмыванием буферным раствором, добавляли субстратную смесь и инкубировали 25 мин при комнатной температуре, а затем вносили стоп-реагент. Измерение оптической плотности раствора в лунках и соответствующей концентрации цитокина в образцах выполняли с использованием иммуноферментного анализатора «ThermoFischer» (Германия) при $\lambda = 450$ нм, референс – $\lambda = 620$ нм.

Статистический метод. Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета Statistica 7.0. Полученные данные представлены в медианах с 25% и 75% процентилями. Определение достоверности различий осуществляли непараметрическим критерием Вилкоксона для зависимых переменных. Проверка на нормальность распределения выполнялась с использованием критерия Холмогорова-Смирнова. Во всех случаях результаты принимали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Влияние *c-di-GMP* на спонтанную продукцию ИФН γ в культурах МПК. Нестимулированная внутриклеточная и внеклеточная продукция ИФН γ оценивалась, соответственно, в 3- и 6/10-дневных культурах МПК здоровых доноров в отсутствие и в присутствии *c-di-GMP*.

На рис. 2 представлены оригинальная точечная диаграмма и ее проекция в виде гистограммы, полученные в результате проточной цитофлуориметрии, на которых отражено распределение внутри-

клеточной продукции ИФН γ среди CD3-позитивных (CD3⁺) и CD3-негативных (CD3⁻) субпопуляций МПК у здорового донора. Установлено, что в культурах МПК основными клетками-продуцентами ИФН γ являются субпопуляции, не экспрессирующие Т-клеточный маркер CD3, к которым относят натуральные киллеры (НК-клетки), НКТ-клетки, В-лимфоциты и специализированные антиген-презентирующие клетки (АПК). Так, в отсутствие с-di-GMP количество CD3-негативных клеток, синтезирующих ИФН γ , в 21,4 раза превышало таковое в субпопуляции CD3⁺Т-лимфоцитов (табл. 1).

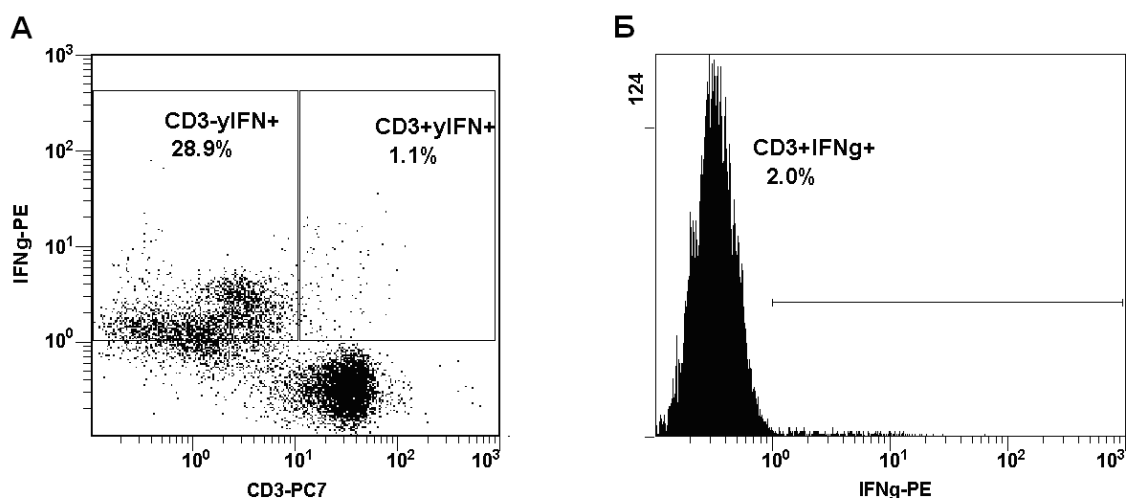


Рисунок 2 – Распределение внутриклеточной продукции ИФН γ клетками с фенотипом CD3⁺ и CD3⁻ среди МПК, культивируемых в питательной среде в течение 3 дней:

А – точечная диаграмма распределения внутриклеточной продукции ИФН γ среди МПК, по оси X отобрано распределение CD3⁺ и CD3⁻ субпопуляций МПК, по оси Y – ИФН γ ⁺ и ИФН γ ⁻ клеток;
 Б – гистограмма уровня внутриклеточной продукции ИФН γ CD3⁺Т-лимфоцитами

При добавлении с-di-GMP в культуру МПК в концентрациях 10⁻⁶–10⁻⁴ М обнаружена тенденция к увеличению внутриклеточной продукции ИФН γ CD3-негативными клетками в 1,29 (1,25ч1,3) раза, в то время как удельное содержание CD3⁺ИФН γ ⁺Т-лимфоцитов повышалось в 2,9 (2,5ч3,3) раза. К Т-лимфоцитам, активно синтезирующим ИФН γ , относят цитотоксические CD3⁺CD8⁺ Т-клетки, $\gamma\delta$ Т-лимфоциты с фенотипом CD3⁺CD4⁻CD8⁻ и некоторые популяции CD3⁺CD4⁺ Т-клеток. Дозозависимого эффекта с-di-GMP в отношении спонтанной внутриклеточной продукции ИФН γ не отмечено (табл. 1).

Таблица 1

Спонтанная внутриклеточная продукция ИФН γ (%) различными субпопуляциями клеток в культурах МПК в присутствии с-di-GMP

Культура клеток	Культуральная среда	с-di-GMP		
		1·10 ⁻⁶ М	1·10 ⁻⁵ М	1·10 ⁻⁴ М
CD3 ⁺ ИФН γ ⁺ Т-клетки	1,14 (0,9ч1,3)	3,78 (2,9ч4,2)	2,84 (2,6ч4,5)	3,36 (3,1ч4,9)
CD3 ⁻ ИФН γ ⁺ клетки	24,4 (18,9ч26,2)	31,7 (28,7ч35,4)	30,5 (29,2ч36,1)	31,5 (28,3ч35,9)

Характеристика внеклеточной нестимулированной продукции ИФН γ в 6- и 10-дневных культурах МПК представлена в табл. 2. Показано, что концентрация ИФН γ в культурах МПК увеличивалась пропорционально продолжительности культивирования клеток. В присутствии с-di-GMP в 6-дневных культурах МПК наблюдалось статистически значимое дозозависимое повышение внеклеточного спонтанного синтеза ИФН γ , в то время как в 10-дневных культурах МПК концентрация ИФН γ увеличивалась лишь при стимуляции МПК с-di-GMP в концентрации 10⁻⁴ М.

Влияние с-di-GMP на митоген-индуцированную внеклеточную продукцию ИФН γ в культурах МПК. Культивирование МПК в условиях митогенной стимуляции приводило к статистически значимому резкому увеличению внеклеточного ИФН γ (994 (368ч1621) пг/мл) по сравнению со спонтанным синтезом цитокина (14,3 (13,0ч15,6) пг/мл). Добавление с-di-GMP в низких концентрациях (1·10⁻⁶–1·10⁻⁵ М) в культуру ФГА-стимулированных МПК не влияло на синтез ИФН γ клетками, в то время как при высокой концентрации с-di-GMP (1·10⁻⁴ М) наблюдалось статистически значимое повышение митоген-индуцированной продукции цитокина МПК у здоровых доноров (рис. 3).

Концентрация ИФН γ (пг/мл) в супернатантах нестимулированных культур МПК

Культура клеток	Культуральная среда	c-di-GMP		
		$1 \cdot 10^{-6}$ М	$1 \cdot 10^{-5}$ М	$1 \cdot 10^{-4}$ М
6-дневные МПК	14,3 (13,0ч15,6)	22,6 * (17,4ч27,8)	79,1 * (76,0ч82,1)	175,6 * (140,0ч211,0)
10-дневные МПК	28,3 (20,0ч36,5)	28,3 (27,8ч28,7)	27,8 (27,6ч28,9)	213,3 * (48,0ч378,5)

Примечание: «*» – статистически значимые различия с уровнем достоверности $p < 0,05$

Приведенные данные согласуются с результатами, полученными нами ранее, которые показали, что c-di-GMP в низких концентрациях не влияет на митоген-стимулированную пролиферацию Т-лимфоцитов. Только в присутствии высоких концентраций ($1 \cdot 10^{-4}$ М) циклического дигуанилата наблюдалось его незначительное иммуносупрессивное действие (коэффициент супрессии варьировал в диапазоне 9,9–27,7%) [8].

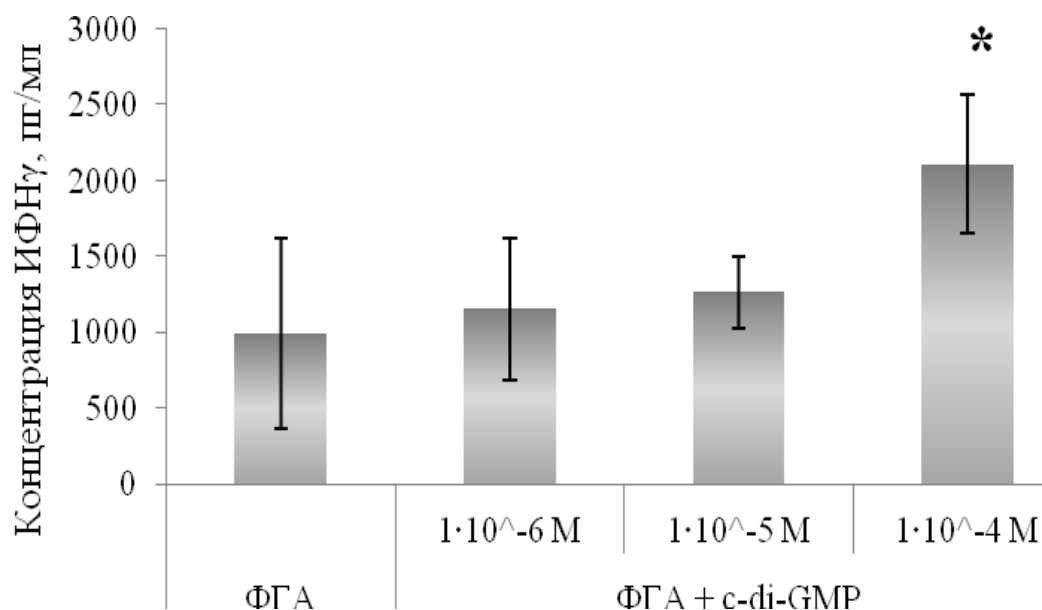


Рисунок 3 – Внеклеточная продукция ИФН γ (пг/мл) в митоген-стимулированных культурах МПК в присутствии различных концентраций c-di-GMP: * – $p < 0,05$

Принимая во внимание, что основными клетками-продукторами ИФН γ являются популяция CD3-негативных клеток, а митогенная активность ФГА проявляется не только в отношении Т-лимфоцитов, но и НК-клеток [9], и учитывая иммуносупрессивный эффект c-di-GMP в высоких дозах на клеточную пролиферацию CD3⁺Т-лимфоцитов, можно заключить, что c-di-GMP в высокой концентрации оказывает цитокин-стимулирующее действие на субпопуляцию НК-клеток. Данная популяция опосредует ранний неспецифический иммунный ответ по отношению к вирус-инфицированным клеткам, внутриклеточным бактериям и паразитам, а также модулирует активность других эффекторных клеток врожденного и приобретенного иммунитета посредством продукции цитокинов и реализации контактного киллинга трансформированных и инфицированных клеток.

Влияние c-di-GMP на антиген-специфическую внеклеточную продукцию ИФН γ в культурах МПК. Для оценки влияния c-di-GMP на антиген-индуцированную секрецию ИФН γ в качестве специфического антигена использовали рМОГ, потенциальные аутореактивные клоны лимфоцитов к которому в норме могут циркулировать в организме здорового донора [10]. Культивирование МПК в условиях миелиновой стимуляции сопровождалось статистически значимым увеличением антиген-специфической продукции ИФН γ (66,4 (40,0ч92,9) пг/мл) по сравнению со спонтанным синтезом цитокина (28,3 (20,0ч36,5) пг/мл). Однако при добавлении c-di-GMP в культуру миелин-индуцированных МПК регистрировалась противоположная митоген-индуцированному синтезу динамика продукции ИФН γ : отмечалось статистически значимое снижение внеклеточной секреции цитокина, независимо от концентрации циклического дигуанилата (рис. 4).

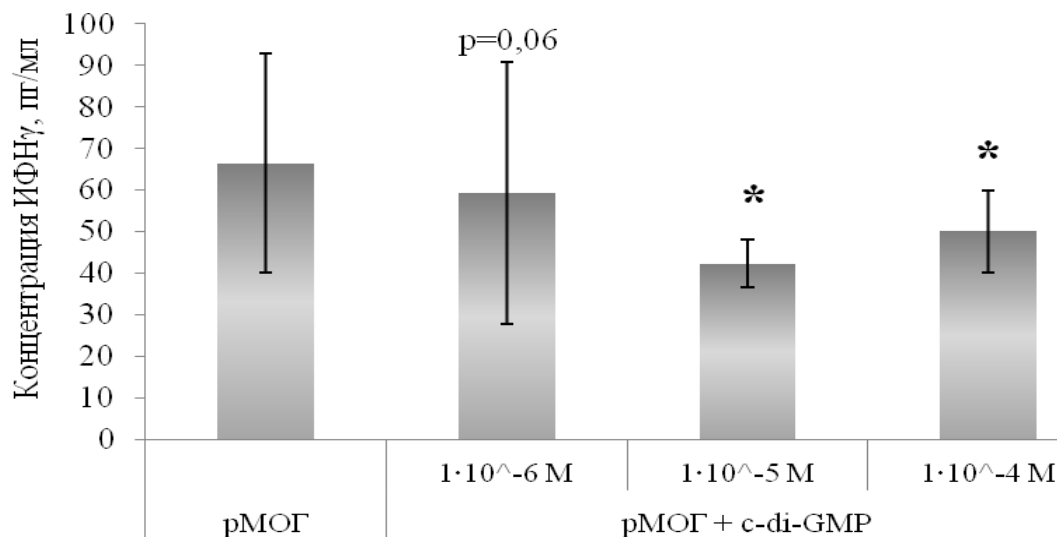


Рисунок 4 – Внеклеточная продукция ИФН γ (пг/мл) в миелин-стимулированных культурах МПК в присутствии различных концентраций c-di-GMP: * – $p < 0,05$

Полученные ранее данные также свидетельствуют о специфическом дозозависимом иммуносупрессивном эффекте c-di-GMP на миелин-специфическую пролиферацию CD3⁺T-лимфоцитов (коэффициент супрессии варьировал в диапазоне 8,2–90,5%) [11]. Известно, что в культуре клеток в ответ на стимуляцию аутоантигеном пролиферируют лишь потенциально аутореактивные Т-лимфоциты, Т-клеточный рецептор которых способен распознавать антигенную детерминанту pMOG. К таким лимфоцитам относятся как CD3⁺CD4⁺T-хелперы, так и цитотоксические CD3⁺CD8⁺T-клетки [12]. При этом и те, и другие обладают способностью к секреции ИФН γ , который, в свою очередь, склонен проявлять не только иммуномодулирующее действие, но и инициировать иммунопатологические реакции аутоиммунного характера.

Выводы

Низкие концентрации c-di-GMP могут быть использованы для терапии иммунообусловленных патологий, поскольку не оказывают ингибирующего действия на неспецифический синтез ИФН γ клетками иммунной системы, что может учитываться при разработке качественно новых терапевтических препаратов. Более высокие концентрации c-di-GMP способствуют митоген-индуцированной активации ИФН γ -секретирующих клеток врожденного иммунитета. Наряду с подавлением специфической пролиферации Т-лимфоцитов, c-di-GMP способен также модулировать процессы миелин-стимулированной дифференцировки Т-лимфоцитов в эффекторные клетки, продуцирующие ИФН γ , что дает основание предполагать вовлеченность c-di-GMP в трансдукцию сигнала синтеза ИФН γ .

Список литературы

1. Nucleotide, c-di-GMP, c-di-AMP, cGMP, cAMP, (p)ppGpp signaling in bacteria and implications in pathogenesis / D. Kalia [et al.] // *Chem. Soc. Rev.* – 2013. – Vol. 42. – Pp. 305–341.
2. Комплексообразование бис-(3',5')-циклического димерного гуанозинмонофосфата с гемоглобином человека / В.А. Головач [и др.] // *Докл. НАН Беларуси.* – 2014. – Т. 58, №4. – С. 82–86.
3. 3',5'-cyclic diguanylic acid (c-di-GMP) inhibits basal and growth factor-stimulated human colon cancer cell proliferation / D.K.R. Karaolis [et al.] // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* – 2005. – Vol. 329. – Pp. 40–45.
4. Libanova, R. Cyclic di-nucleotides: new era for small molecules as adjuvants / R. Libanova, P.D. Becker, S.A. Guzman // *Microbial Biotechnol.* – 2012. – Vol. 5. – Pp. 168–176.
5. Evidence for cyclic diguanylate as a vaccine adjuvant with novel immunostimulatory activities / P.M. Gray [et al.] // *Cell Immunol.* – 2012. – Vol. 278. – Pp. 113–119.
6. Schroder, K. Interferon- γ : an overview of signals, mechanisms and functions / K. Schroder, P. Hertzog, T. Ravasi, D. Hume // *J. Leukoc. Biol.* – 2004. – Vol. 75. – Pp. 163–189.
7. Korovashkina, A.S. Enzymatic synthesis of c-di-GMP using inclusion bodies of *Thermotoga maritima* full-length diguanylate cyclase / A.S. Korovashkina, A.N. Rymko, S.V. Kvach, A.I. Zinchenko // *J. Biotechnol.* – 2012. – Vol. 164, N 2. – Pp. 276–280.
8. Головач, В. А., Нижегородова, Д. Б., Макарова, Т. П., Щеколова, А. С., Зинченко, А. И., Зафранская, М. М., Бокуть, С. Б. Влияние бис-(3',5')-циклического димерного гуанозинмонофосфата (c-di-

GMP) на индуцированную митогенами пролиферацию Т-лимфоцитов. Метаболический синдром: эксперимент, клиника, терапия = Metabolic syndrome: experiment, clinics and therapy : сб. науч. ст. / НАН Беларуси [и др.] ; редкол.: Л. И. Надольник (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2015. – С. 221–226.

9. Regulatory NK cells suppress antigen-specific T-cell response / G. Deniz [et al.] // J. Immunol. – 2008. – Vol. 180. – Pp. 850–857.

10. Autoreactive T cells in healthy individuals / N. Danke [et al.] // J. Immunol. – 2004. – Vol. 172. – Pp. 5967–5972.

11. Нижегородова, Д. Б. Иммуномодулирующее действие c-di-GMP на функциональную активность Т-лимфоцитов / Д. Б. Нижегородова, А. С. Щеколова, А. И. Зинченко, М. М. Зафранская, С. Б. Бокуть // Радиация, экология и техносфера = Radiation, environmental and man – risk factor : материалы респ. науч. – практ. конф. (Гомель, 3-4 дек. 2015 г.) / редкол. : И. А. Чешник (гл. ред. [и др.]). – Минск : Ин-т радиэкологии, 2015. – С. 69–73.

12. Zafranskaya, M. Interferon- β therapy reduces CD4+ and CD8+ T-cell reactivity in multiple sclerosis // M. Zafranskaya, P. Oschmann, R. Engel, A. Weishaupt, J. van Noort, H. Jomaa, M. Eberl // Immunology. – 2007. – Vol. 121, N1. – Pp. 29–39.

**D. B. Nizheharodava, A. S. Shchekolova, A. I. Zinchenko, M. Yu. Yurkevich,
G. I. Ivanchyk, M. M. Zafranskaya, S. B. Bokut**

THE EFFECT OF c-di-GMP ON INTERFERON- γ PRODUCTION BY PERIPHERAL BLOOD MONONUCLEAR CELLS IN VITRO

Cyclic dimeric guanosine 3',5'-monophosphate effects mitogen- and antigen-specific IFN γ production by human peripheral blood mononuclear cells differently what may be used for design of qualitatively new therapeutic agents.

Т. В. Макаренко, Н. М. Силивончик

Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ВОДЕ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ Г. ГОМЕЛЯ

В статье представлены результаты исследований содержания тяжелых металлов в донных отложениях и воде р. Сож и водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий, которые проводились в период с 2001 г по 2014 г. По результатам исследований произведена оценка влияния Гомельской городской агломерации на качество воды изучаемых водоемов.

► **Ключевые слова:** *тяжелые металлы, донные отложения, фоновый водоем, участки р. Сож выше и ниже г. Гомеля.*

Введение

Среди основных загрязнителей водной среды выделяют тяжелые металлы, обладающие токсическим действием на жизнедеятельность биоты и консервативным действием в ее инерционном звене – донных отложениях. По химическому составу донных осадков можно получить полную информацию об уровне техногенного загрязнения, и поэтому их исследование имеет большое значение в оценке экологического состояния водоема [1, 2]. Металлы в природной среде, а особенно в донных отложениях, находятся в непрерывном процессе миграции, которая может осуществляться как в механической форме (вместе со слагающими частями осадка), так и в растворенной и коллоидальной форме, причем при этом происходит непрерывный обмен между гидросферой и литосферой через одну из известнейших геохимических барьерных зон «дно–вода». Металлы, являясь составной частью донных отложений, попадают в организмы бентосов, далее – рыб и по трофическим цепям – в пищу человека и могут накапливаться в костях и тканях [3, 4].

Материалы и методы исследования

Объектами наших исследований, которые проводились с 2001 г. по 2014 г., являлись вода и донные отложения водоемов и водотоков Гомеля и прилегающих территорий, в том числе р. Сож. Для изучения были выбраны водные объекты существенно разные по степени и специфике хозяйственного освоения и техногенной нагрузки. На территории города располагаются озера Дедно, Шапор, Любенское, Малое, У-образное, Волотовское, в пригородной зоне отдыха – Гребной канал, озера Володькино и Круглое.

Для оценки влияния Гомельской городской агломерации на качество воды в р. Сож выполнялся отбор проб из реки выше города в районе д. Клёнки и ниже города по течению в районе д. Чёнки. Изучалась также, связанная с коренным руслом р. Сож старица у д. Поляновка (Ветковский район) в 10 км выше города по течению реки.

Изученные объекты имеют разный гидрологический режим. Озера Малое, Круглое, У-образное, Волотовское являются полностью замкнутыми непроточными водоемами. Гребной канал, озера Шапор, Дедно, Любенское, имеющие выход в Сож, обладают неодинаковой степенью проточности в зависимости сезона, которая достигает своего максимума во время половодий. Для оз. Володькино, которое представляют собой расширение русла реки, характерна наибольшая скорость течения.

Отбор проб воды проводился с помощью батометра с глубины 1,0 метр, далее пробы переливали в полиэтиленовые бутылки емкостью 1,0 л, предварительно (за 2–3 суток) заполненные водой водоемов для насыщения сорбции на стенках. Пробы фильтровались через фильтр «синяя лента» и консервировались добавлением концентрированной HNO_3 до $\text{pH} = 2-3$. В большинстве случаев определение содержания тяжелых металлов в воде водоемов проводилось в день отбора проб. Содержание металлов в воде определялось атомно-абсорбционным методом на ААС «Perkin Elmer – 406» в лабораториях КПУП «Гомельводоканал» (г. Гомель). Донные отложения отбирались в летнюю межень (июль – август) с использованием дночерпателя Боруцкого и Петерсена [5]. Каждый образец состав-

лялся из 5 частных проб с однородного участка. Отобранные в полиэтиленовые емкости образцы в дальнейшем высушивались до воздушно-сухого состояния. Ситовым методом выделялась для исследования фракция менее 1 мм, и пробы озолялись при 450 °С. Содержание органического вещества оценивалось по потерям в массе после прокаливания (ППП) воздушно-сухих образцов при температуре 450 °С в течение 8 часов [6, 7].

Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях определялось атомно-эмиссионным методом на спектрофотометре PGS-2 в лаборатории РУП «Белорусский научно-исследовательский геолого-разведочный институт».

Результаты исследований и их обсуждение

1. Среднее содержание тяжелых металлов в донных отложениях р. Сож и водоемов города и прилегающих территорий.

В качестве фонового водоема для оценки содержания загрязнителей в Гомельском районе была выбрана старица р. Сож д. Поляновка, расположенная выше города по течению реки в среднем на 15 км. Исследования, проведенные ранее, выявили водоем как наиболее чистый. В результате новых исследований, проведенных в 2014 году, установлено, что среднее содержание металлов в донных осадках фонового водоема не существенно ниже, чем в водоемах города. Следует отметить, что средняя концентрация свинца в донных отложениях фонового водоема в среднем в 2,0 раза ниже, чем в водоемах города, что видно на рис. 1.

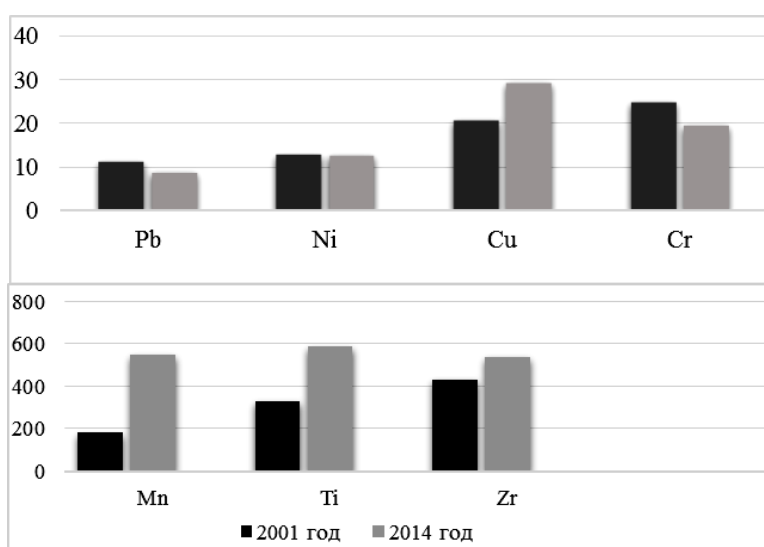


Рисунок 1 – Сравнительный обзор среднего содержания (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях фонового водоема

Только содержание никеля в донных отложениях практически не изменилось, а концентрация хрома и свинца уменьшилась. Однако концентрации остальных тяжелых металлов за данный интервал времени возросли весьма существенно – в 1,5–3,0 раза. Причем максимальное увеличение отмечено для марганца. Содержание данного элемента во всех исследуемых водоемах, включая фоновый, заметно превышает кларковые величины [8], что, вероятно, связано с аномалиями природного происхождения в рассматриваемой геохимической провинции. Концентрация марганца, зафиксированная в донных отложениях в пределах Березинского биосферного заповедника, составляет 4100 мг/кг [9].

Значительное повышение содержания таких металлов как титан и цирконий объяснить сложно по той причине, что они практически не участвуют в производных процессах предприятий г. Гомеля и не являются загрязнителями изучаемой территории. Возможно, это связано с увеличением выбросов соединений данных металлов с продуктами горения различных видов топлива, а также переработкой полезных ископаемых на предприятиях города. Данный факт требует дальнейшего изучения в связи с тем, что данная тенденция отмечена в водоеме, который не испытывает видимой антропогенной нагрузки и расположен существенно выше города по течению реки. Динамика содержания металлов в донных отложениях фонового водоема связана также с изменением гидрологического режима в связи со снижением уровня речной воды. Связь старицы с р. Сож с течением времени сократилась, в результате чего в водоеме почти отсутствует течение, которое наблюдалось ранее.

Что касается водоемов города (рис. 2), то здесь отмечены следующие тенденции: заметно снизилось среднее содержание всех исследуемых металлов в донных отложениях, что свидетельствует об уменьшении антропогенной нагрузки, оказываемой на водоемы.

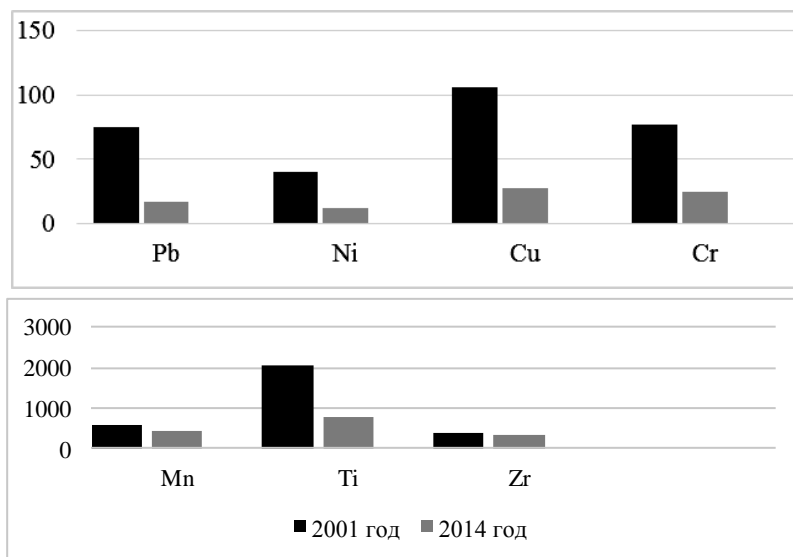


Рисунок 2 – Сравнительный обзор среднего содержания (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях водоемов г. Гомеля

Максимально снизилась концентрация меди и свинца – в среднем в 4,0 раза соответственно. Незначительное снижение отмечено для марганца и циркония – в среднем в 1,1 и 1,75 раз соответственно.

Тенденция изменения содержания всех изучаемых металлов на участке реки до принятия стоков города и ниже города по течению реки имеет общее направление, что видно исходя из рис. 3 и рис.4.

В свою очередь концентрация меди, хрома и титана заметно снижается, что в незначительной степени характерно и для марганца.

На участке реки выше города по течению содержание металлов в донных отложениях колеблется в более широких пределах в сравнении с участком реки ниже города.

Анализируя данные 2014 года по содержанию изучаемых металлов в донных отложениях водоемов г. Гомеля, можно сделать вывод, что, несмотря на наличие течения, наиболее загрязненным водоемом является р. Сож, что свидетельствует о влиянии Гомельской городской агломерации на речную экосистему. Концентрация всех изучаемых металлов в отложениях реки превышает их содержание в городских и фоновом водоемах в среднем в 1,1–8,0 раз.

Максимальные концентрации свинца и никеля были зафиксированы на участке реки в районе пос. Кленки (выше города по течению), что может свидетельствовать о том, что данные металлы не являются основными загрязнителями поверхностного стока города. Наиболее высокое содержание всех остальных металлов отмечено на участке ниже города по течению – в районе пос. Ченки, что указывает на факт поступления металлов со стоками города.

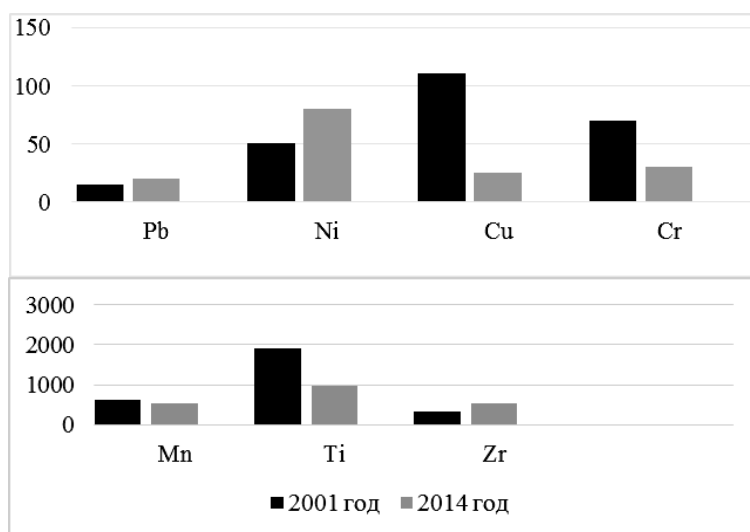


Рисунок 3 – Сравнительный обзор среднего содержания (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях р. Сож пос. Кленки (выше города)

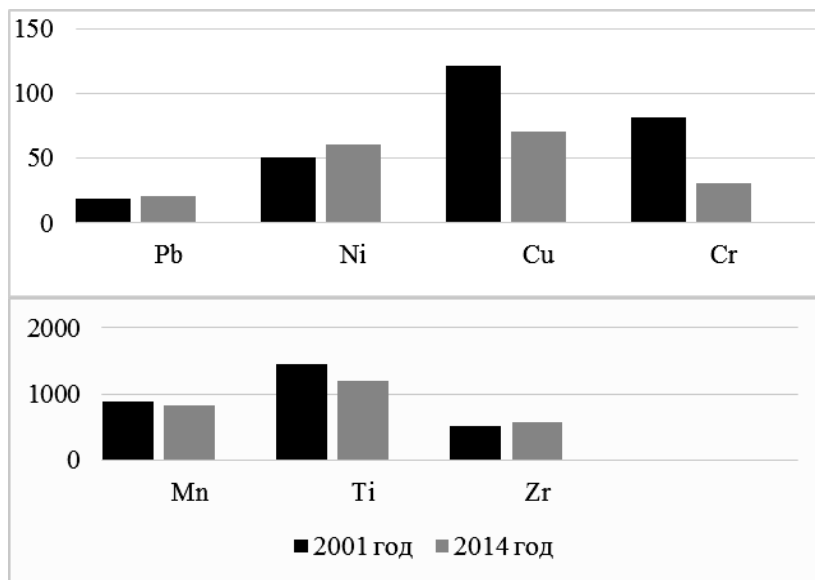


Рисунок 4 – Сравнительный обзор среднего содержания (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях р. Сож пос. Ченки (ниже города)

2. Среднее содержание тяжелых металлов в воде р. Сож и водоемов города и прилегающих территорий.

Несмотря на отсутствие видимой антропогенной нагрузки и значительной удаленности от городов и поселков, вода фоновое водоема загрязнена соединениями свинца и марганца. В 2001 году содержание свинца превышало ПДК в 3,3 раза, в 2014 году – в среднем в 16,3 раза. Это, возможно, связано с вторичным загрязнением воды фоновое водоема и поступлением металлов из донных отложений. Концентрация марганца превысила нормативный уровень в только 2014 году, в среднем, в 1,3 раза, как это видно из табл. 1

Таблица 1

Среднее содержание (мг/кг) тяжелых металлов в воде фоновое водоема

металл \ год	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni
2001	0,100	0,006	0,157	0,007	0,007	0,001
2014	0,490	0,045	0,116	0,129	0,006	0,003
ПДК*	0,0300	1,0	1,0000	0,1000	0,5000	0,1000

Примечание: «*» – ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Сравнивая между собой количественные данные, представленные в табл. 1, следует отметить, что концентрация исследуемых металлов, за исключением цинка и хрома, в воде фоновое водоема в 2014 году выше, чем в 2001 году. Причем, в весьма значительной степени возросло содержание таких металлов как свинец, марганец и медь – в среднем в 48,0, 18,0 и 7,0 раз соответственно. В сравнении с фоновым водоемом, в 2001 году в воде водоемов города (табл. 1 и табл. 2) концентрация свинца и цинка снизилась в среднем в 11,1 и 1,2 раз соответственно, а содержание таких металлов как медь, марганец и хром увеличилось – в среднем в 2,6, 16,1 и 2,4 раз соответственно, концентрация никеля не изменилась. В 2014 году в сравнении с фоном в воде городских водоемов содержание всех исследуемых металлов снизилось – в среднем в 1,5–45,0 раз. Причем, минимально снизилось содержание никеля – в среднем в 1,5 раза, а максимально снизилось содержание меди – в среднем в 45,0 раз.

Значительное увеличение концентрации свинца, вероятно, обусловлено изменением гидрологического режима. Известно, что ранее фоновый водоем имел связь с р. Сож, однако, в настоящее время эта связь значительно сократилась, что обусловило незначительную скорость течения водоема. Уровень воды в р. Сож за последние годы снизился практически на 1,0 м, что повлияло на изменение физико-химических условий водоема. Можно предполагать, что в экосистеме фоновое водоема происходит перераспределение свинца из донных отложений в водные массы; о чем свидетельствует уменьшение его содержания в донных отложениях. Для таких металлов как медь и марганец отмечена тенденция увеличения общего содержания к 2014 году.

Содержание исследуемых металлов в воде исследуемых водоемов не превышало допустимую концентрацию, что видно исходя из табл. 2.

Таблица 2

Среднее содержание (мг/кг) тяжелых металлов в воде исследуемых водоемов

металл / год	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni
2001	0,009	0,016	0,134	0,113	0,017	0,001
2014	0,018	0,001	0,063	0,055	0,001	0,002
ПДК*	0,0300	1,0000	1,0000	0,1000	0,5000	0,1000

Примечание: «*» – ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

В воде городских водоемов в 2014 году в сравнении с 2001 годом снизилось содержание марганца и цинка – в среднем в 2,0 раза, а также меди и хрома – в среднем в 15,0 и 17,0 раз соответственно. В донных отложениях исследуемых водоемов среднее содержание меди, марганца и хрома также снижается, что указывает на общую тенденцию снижения антропогенного воздействия на водоемы города. Тенденция увеличения содержания, в сравнении с 2001 годом, отмечена для свинца – в среднем в 20,0 раз и в незначительной степени для никеля. Заметный рост средней концентрации свинца в воде может быть связан с его поступлением в воду из донных отложений, так как содержание данного металла в них снизилось почти в 4,0 раза.

Согласно табл. 3, вода р. Сож загрязнена соединениями металлов, что видно по превышению уровней нормативных концентраций. Содержание свинца в воде реки в 2001 году превысило ПДК как выше, так и ниже черты города в среднем в 25,0 и 19,6 раз соответственно. Концентрация остальных металлов за период исследований соответствовала допустимой норме.

Таблица 3

Среднее содержание (мг/кг) тяжелых металлов в воде р. Сож

металл / год	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni
2001	<u>0,750</u>	<u>0,006</u>	<u>0,113</u>	<u>0,120</u>	<u>0,004</u>	<u>0,001</u>
	0,590	0,008	0,206	0,100	0,004	0,001
2014	<u>0,030</u>	<u>0,032</u>	<u>0,023</u>	<u>0,025</u>	<u>0,0003</u>	<u>0,0006</u>
	0,008	0,005	0,007	0,023	< п. о	0,002
ПДК [10]*	0,0300	1,0000	1,0000	0,1000	0,5000	0,1000

Примечание: над чертой – выше черты города, под чертой – ниже черты города; «*» – ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

В 2014 году в воде реки выше города, в сравнении с участком ниже черты города, содержание меди и цинка увеличилось в среднем в 6,0 и 3,3 раза соответственно. Изменения в содержании марганца и никеля в 2014 году незначительны, а концентрация хрома в реке на участке ниже города ниже предела обнаружения. Имеются основания предполагать, что повышенное содержание меди в воде реки на участке выше города может быть обусловлено двумя причинами. Во-первых, среднее содержание меди в донных отложениях данного участка реки за период исследований снизилось, что, вероятно, вызвано изменением физико-химических условий водоема, и этот факт может указывать на миграцию данного металла из донных осадков в воду. Во-вторых, увеличение меди может быть связано с поступлением медьсодержащих соединений с поверхностным стоком, который поступает в реку и содержит остатки гербицидов, фунгицидов и удобрений частного сектора и сельхозугодий, подходящих близко к урезу воды.

Содержание исследуемых металлов в 2014 году в воде реки за чертой города снизилось в сравнении с 2001 годом. Содержание свинца уменьшилось в среднем в 77,0 раз, меди – в среднем в 2,0 раза, цинка – в среднем в 32,0 раза, марганца – в среднем в 4,0 раза. Причем, концентрация хрома в 2014 году оказалась ниже предела обнаружения. Содержание никеля практически не изменилось.

В 2014 году отмечена тенденция уменьшения содержания свинца, меди и цинка, на участке реки ниже города по сравнению с участком выше города в среднем на 72,0–85,0%, содержание марганца снизилось в среднем на 6,0%. Концентрация никеля в 2014 году на участке реки ниже черты города увеличилась в среднем на 60,0%.

В 2001 году на участке реки вниз по течению отмечается следующая тенденция: содержание меди, цинка и хрома увеличилось в среднем на 16,0–45,0%, концентрация марганца и свинца снизилась в среднем на 13,0% и 22,0% соответственно, содержание никеля в 2001 году – не изменилось.

В точке отбора проб воды из р. Сож выше города, в 2014 году по сравнению с 2001 годом, увеличилась концентрация меди на 82,0%. Содержание остальных металлов уменьшилось в среднем на 40,0–95,0%.

На участке р. Сож ниже города в 2014 году по сравнению с 2001 годом увеличилось содержание никеля в среднем на 33,0%. Концентрация остальных металлов уменьшилась на 42,0–99,0%.

Резюмируя изложенное выше, можно предположить, что в 2014 году воздействие городской агломерации на речную систему являлось менее выраженным в сравнении с 2001 годом. Возможно, это объясняется заметным улучшением качества очистки сточных вод промышленности, произошедшим за минувшие 30 лет, а также уменьшением техногенной нагрузки на реку, исходящей от промышленных предприятий Гомеля.

Выводы

Только в фоновом водоеме было отмечено увеличение концентрации меди в донных отложениях за весь период исследований. Кроме этого, в донных отложениях фонового водоема зафиксировано повышенное содержание титана и циркония, что представляет интерес для дальнейших исследований.

Результаты исследований динамики содержания металлов в донных отложениях водоемов города показали, что, в сравнении с 2001 годом, в 2014 году концентрация всех изучаемых металлов уменьшилась, что указывает на тенденцию снижения антропогенной нагрузки оказываемой на водоемы города. За весь период исследований в донных отложениях р. Сож содержание таких металлов как медь, хром, марганец и титан заметно снизилось, в то время как концентрация свинца, никеля и циркония незначительно возросла. Данные результаты указывают на снижение негативного воздействия городской агломерации на реку. В 2014 году наиболее высокое содержание металлов установлено в донных отложениях р. Сож. Причем, участок реки, расположенный ниже города по течению, загрязнен в большей степени в сравнении с участком выше города по течению реки. Данный факт связан с влиянием поверхностного стока города на экосистему р. Сож.

В фоновом водоеме за период исследований отмечено заметное увеличение средней концентрации свинца, марганца и меди, что обусловлено значительным уменьшением скорости течения и снижением уровня воды, что вызвано, в свою очередь, изменением физико-химических условий водоема. Кроме этого, вероятно, внутри фонового водоема происходит перераспределение металлов из донных осадков в воду.

За весь период исследований во всех исследуемых водоемах в весьма значительной степени увеличилось среднее содержание свинца. Данный факт, вероятно, связан со вторичным загрязнением водоемов вследствие миграции свинца из донных отложений в водные массы, о чем свидетельствует снижение его содержания в донных отложениях исследуемых водоемов.

Для всех исследуемых водоемов города в указанный интервал времени отмечена тенденция уменьшения антропогенного влияния на основании заметного снижения в воде водоемов концентраций таких металлов как медь, цинк и марганец, а также очень незначительного колебания содержания хрома и никеля, что указывает на эффективность комплексных экологических мероприятий, которые осуществляются в Беларуси. В воде р. Сож в 2014 году отмечено снижение содержания тяжелых металлов в сравнении с 2001 годом, что особенно заметно в случае свинца на участке реки выше черты города – в среднем в 21,0 раз, а также на участке реки ниже города – в среднем в 77,0 раз.

В 2001 году не наблюдалось общей закономерности изменения содержания металлов в воде вниз по течению реки. Концентрация исследуемых металлов в 2014, за исключением никеля, в воде р. Сож вниз по течению уменьшилась. Вероятно, тенденция снижения содержания металлов в воде вниз по течению реки в 2014 году связана с уменьшением техногенной нагрузки оказываемой на р. Сож, что связано главным образом с модернизацией оборудования промышленных предприятий г. Гомеля.

В р. Сож пос. Кленки (выше города) заметно увеличилось содержание меди. Данный факт может быть обусловлен поступлением медьсодержащих фунгицидов вместе с поверхностным стоком из сельскохозяйственных участков поселка, а также перераспределением меди из донных отложений в речную воду.

Список литературы

1. Другов, Ю. С. Экологическая аналитическая химия : учеб. пособие для вузов / Ю. С. Другов. – М.: Химия, 2000. – 432 с.
2. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – С. 408.

3. Никаноров, В. М. Глобальная экология / В. М. Никаноров, Т. А. Хоружая. – М.: Дрофа, 2000. – 285 с.
4. Чекренев, С. А. Анализ компонентного состава донных отложений / С. А. Чекренев, Н. Е. Панова // Международная научная конференция «Современные тенденции развития химии и технологии полимерных материалов». – СПб.: СПГУТД, 2008. – С. 60.
5. Макаренко, Т. В. Исследование накопления тяжелых металлов в донных отложениях водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий / Т. В. Макаренко, С. П. Калтович // Молодежь в науке – 2009 : прил. к журн. «Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі». В 5 ч. Ч.1 Сер. хім. навук – 2010. – С. 146–149.
6. Абакумов, В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В. А. Абакумов. – Л. : Гидрометеиздат, 1983. – 240 с.
7. Савченко В. В. Микроэлементы в илах водохранилищ р. Свислочи / В. В. Савченко // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23, № 4. – С. 444–447.
8. Гордобудская, О. М. Анализ регионального накопления микроэлементов в сапропелях / О. М. Гордобудская, Б. В. Курзо, Ю. Л. Бурак // Природопользование. – 1996. – № 1. – С. 17–24.
9. Савченко, В. В. Эколого-геохимическое изучение аллювиальных осадков Березины и Свислочи. – авториферат дис. канд. геол.-мин. наук. – Минск, 1993. – 22 с.
10. Сборник гигиенических нормативов по разделу коммунальной гигиены. Республиканские санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. – Минск, 2004. – 96 с.

T. V. Makarenko, N. M. Silivonchik

HEAVY METALS CONTENT IN THE BOTTOM SEDIMENT OF GOMEL'S RESERVOIRS AND CHANNELS

Compared with 2001, in 2014 the concentration of all researched metals except lead decreased, which indicates a reduction of anthropogenic load on aquatic ecosystems. It has been revealed in the research of the dynamics of metals accumulation in the waters and bottom sediments of Gomel's reservoirs. The lead content in water reservoirs is largely increased, while it is decreased in the bottom sediments. This fact is probably due to the secondary contamination of water reservoirs during the metals transition from sediments. The bottom sediments of the downstream reach of the river Sozh contain lead in higher concentrations in comparison with those on the upstream reach of the river. But the reverse tendency takes place concerning the water of the river Sozh: the area above the city is contaminated with the researched metals more than that one outside the city.

А. А. Шиманская¹, С. С. Позняк²

¹Научно-методическое учреждение «Национальный институт образования» Министерства образования Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

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

ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕДИ, ЦИНКА И СВИНЦА В ПОЙМЕННЫХ ПОЧВАХ МОЗЫРСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Проведенные исследования по изучению содержания химических элементов в аллювиальных почвах нижнего течения р. Припять в районе г. Мозыря показали, что количество валовых форм Pb и Zn находится в пределах регионального фона, в то время как содержание Cu в иловато-торфяно-глеевой почве выше значений регионального кларка в 1,8 раза. В генетических горизонтах распределение валовых форм элементов различно: в пахотном горизонте аккумулируются медь и цинк; концентрация свинца возрастает в нижележащих горизонтах (35–50 см), что свидетельствует о его перераспределении по почвенному профилю.

➤ **Ключевые слова:** пойма, аллювиальные почвы, вертикальное перераспределение, химические элементы, валовые и подвижные формы, ПДК/ОДК, региональный кларк.

Введение

Качество окружающей среды с геохимических позиций оценивается по концентрации химических элементов в различных природных компонентах. Весьма актуальным с позиций фундаментальной науки является изучение аллювиальных почв, представляющих собой неотъемлемый компонент очень сложных экосистем. Пойменные почвы выполняют важные биосферные функции: среды обитания организмов суши, участия в дифференциации географической оболочки и биосферы, фактора биологической эволюции [1].

Проблеме загрязнения окружающей среды химическими элементами, их распределению в пойменных почвах уделено много внимания, как в Республике Беларусь, так и за рубежом. Установлено, что на содержание в почвах химических элементов оказывает влияние ряд природных факторов: состав почвообразующих пород, рельеф местности, климат, растительность и др. В последние десятилетия к естественным источникам поступления элементов в почву прибавились антропогенные, включающие их поступление со средствами химизации [2]. Элементный состав загрязнителей оказывает большое влияние на плодородие почв, является важнейшим показателем их химического состояния, свойств и генезиса. Формирование уровня содержания элементов в почвах подчиняется определенным закономерностям, обусловленным действием многих факторов, и является результатом весьма сложных и многообразных биогеохимических процессов [3].

Содержание химических элементов в пойменных почвах, которые имеют промывной режим, характеризуется значительной сложностью и пестротой. В аллювиальных почвах формирование профиля обусловлено неодинаковой длительностью поемного процесса, особенностями видового состава растительного покрова, различными гранулометрическими и минералогическими составами почв и физико-химическими свойствами аллювиальных наносов в различных частях поймы.

В настоящее время в целом сложилось четкое представление о химических элементах, их распределении в живых организмах, почве и биосфере. Однако вопросы содержания и распространения химических элементов по профилю аллювиальных почв р. Припять в районе г. Мозыря являются недостаточно изученными. Из широко спектра химических элементов особого внимания заслуживают свинец, медь и цинк, поскольку, во-первых, они относятся к микроэлементам, являющимся жизненно необходимыми для нормального функционирования живых организмов, и, с другой стороны, в высоких концентрациях они становятся опасными загрязнителями природной среды [4, 5]. Согласно существующей классификации по степени опасности химических элементов Pb и Zn являются элементами первого класса, а Cu – второго класса экологической опасности [6].

Вследствие этого, изучение накопления и вертикального распределения химических элементов медь, свинец и цинк в аллювиальных (пойменных) почвах р. Припять представляет актуальную научную задачу, отвечающую практическим запросам природопользования и охраны окружающей среды.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являлся почвенный покров поймы нижнего течения р. Припять в районе г. Мозыря: центральной части, представленной аллювиальной дерновой временно-избыточно увлажненной почвой на связнопесчаном аллювии и притеррасной частью поймы, расположенной на иловато-торфяно-глеевой почве.

Аллювиальные дерновые временно-избыточно увлажненные почвы имеют более легкий механический состав и относятся к песчаным. Почвы такого типа используются в качестве луговых земель. По содержанию гумуса они относятся к малогумусным (содержание гумуса меньше 3%) [7].

Иловато-торфяно-глеевые почвы используются, в основном, как пахотные земли. Содержание гумуса в них составляет – более 3% [7].

Почвенные образцы отбирали по элементарным участкам тростевым буром с горизонтов 5–20, 20–35 и 35–50 см. Отбор почвенных образцов производился на расстоянии не менее 15–20 м от дороги. Объединенную почвенную пробу формировали из 3 точечных проб, тщательно перемешивали, очищали от растительных остатков, высушивали, измельчали [8].

Валовое содержание химических элементов меди, свинца и цинка и их подвижных соединений (ацетатно-аммонийная вытяжка с рН 4,8) определяли из трех параллельных навесок атомно-абсорбционным методом на спектрометре Spectr AA 240 Z (Германия) в аккредитованной лаборатории ГУ «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды» [9].

Полученные экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики (среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (σ), стандартная ошибка (m)) с использованием пакета программ Excel 2007.

Для оценки состояния почв использовалось сравнение абсолютных значений содержания химических элементов с величинами их ПДК (ОДК), а также значениями региональных кларков.

Результаты и их обсуждение

Для изучаемых элементов (Cu, Pb, Zn) характерна неравномерность накопления и распределения в почвенном профиле пойменных почв Мозырского Полесья. По-видимому, подобное варьирование определяется гранулометрическим составом, содержанием гумуса в почве, реакцией среды и длительностью затопления почв.

Анализ содержания валовых форм элементов в пойменных почвах показал, что иловато-торфяно-глеевые почвы содержат Cu, Pb и Zn в большем количестве, чем аллювиальные дерновые временно избыточно увлажненные, в том числе Cu – в 16 раз, Pb – в 2 раза, Zn – в 5,5 раза (табл. 1).

Таблица 1

Содержание валовых и подвижных форм химических элементов Cu, Pb и Zn в пойменной почве (возд.-сух. почвы), мг/кг

Глубина, см	Валовые			Подвижные		
	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
Аллювиальная дерновая временно избыточно увлажненная						
(5–20)	0,7	3,2	2,4	0,5	0,2	0,4
(20–35)	0,4	2,8	1,6	0,3	0,9	1,3
(35–50)	0,6	4,0	1,3	0,4	1,8	1,0
M (m)	0,58 (0,10)	3,36 (1,04)	1,79 (0,86)	0,46 (0,10)	1,0 (1,09)	0,95 (0,60)
σ	0,23	2,33	1,93	0,08	0,80	0,44
Кларк*	13	12	35	—	—	—
Иловато-торфяно-глеевая						
(5–20)	9,1	8,9	9,8	1,5	1,1	1,9
(20–35)	10,2	6,1	9,7	2,4	0,3	1,9
(35–50)	8,1	4,3	9,7	2,3	1,9	1,9
M (m)	9,19 (0,47)	6,48 (1,11)	9,79 (0,03)	2,09 (0,67)	1,17 (1,09)	1,96 (0,04)
σ	1,04	2,49	0,06	0,49	0,80	0,03
Кларк*	5	13	87	—	—	—

Примечание: M – среднее арифметическое, мг/кг; m – ошибка среднего арифметического; σ – стандартное отклонение; Кларк* – среднее содержание элемента в почвах Беларуси, мг/кг [10, 11]

В аллювиальной дерновой временно избыточно увлажненной почве, отобранной в центральной части поймы, среднее содержание валовых Cu, Pb и Zn существенно ниже по сравнению с региональным кларком (табл. 1) и составляет: меди – от 0,4 до 0,7 мг/кг, свинца – 2,8–4,0 мг/кг, цинка – 1,3–2,4 мг/кг, что вызвано, по-видимому, тем, что почвы имеют легкий механический состав.

Концентрации подвижных форм элементов в аллювиальной дерновой временно избыточно увлажненной почве в среднем составляют: для Cu – 0,4 мг/кг, Pb – 1,0 мг/кг, Zn – 0,9 мг/кг. Причем доля подвижных форм составляет: Cu – 80%, Pb – 30% и Zn – 50% от их валового содержания.

В иловато-торфяно-глеевой почве, отобранной в притеррасной пойме, содержание валовых форм изучаемых элементов было более высоким (Cu от 8,1 до 10,2 мг/кг, Pb – 4,3–8,9 мг/кг, Zn – 9,7–9,8 мг/кг), по сравнению с аллювиальной дерновой почвой. Содержание меди в 1,8 раза превышало значение регионального кларка, что связано, возможно, с тем, что в данную почву вносились медьсодержащие удобрения, и в условиях оттока веществ произошло накопление более высокого количества меди.

Содержание подвижных форм химических элементов в почве притеррасной поймы характеризуется следующими средними значениями: медь – 2,0 мг/кг, свинец – 1,1 мг/кг, цинк – 1,9 мг/кг (табл. 1). Следует отметить, что в иловато-торфяно-глеевых почвах количество подвижных форм элементов Cu, Pb и Zn составляет около 20% от их валовых содержаний и значительно меньше по сравнению с их содержанием в аллювиальных дерновых почвах, что связано с более высоким содержанием в них органического вещества.

Проведенные исследования позволили выявить, что аллювиальная дерновая временно избыточно увлажненная почва обеднена свинцом на 28%, медью – на 5,0% и цинком – на 5,1%. Содержание Pb и Zn в иловато-торфяно-глеевой почве составляет соответственно 49,8 и 11,2% от значений среднереспубликанских кларков, а Cu – на 83,8% превышает значение кларка.

ОДК валовых форм меди в песчаных и супесчаных почвах составляет 33,0 мг/кг, ПДК подвижных форм Cu – 3,0 мг/кг [13]. В профиле анализируемых пойменных почв содержание валовой меди варьируется в пределах от 0,4 до 10,2 мг/кг, что не превышает ОДК (табл. 1).

Перераспределение меди по генетическим горизонтам пойменных почв характеризуется неравномерностью по профилю и зависит от типа почв. Если в аллювиальной дерновой временно избыточно увлажненной почве выделяются два максимума содержания общей меди – на глубине 5–20 см (0,7 мг/кг) и 35–50 см (0,6 мг/кг), то в иловато-торфяно-глеевой – один, на глубине 20–35 см (10,2 мг/кг) (рис. 1). Повышенное содержание Cu в верхнем слое почвы (5–35 см) отражает ее биоаккумуляцию, описанную А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас, 1989 [13].

Содержание подвижных форм меди в аллювиальной дерновой почве составляло 0,5 мг/кг, в то время как в иловато-торфяно-глеевой почве на глубине 20–35 см превышало 2,4 мг/кг, что близко к значению ПДК (3,0 мг/кг).

Подвижность Cu более высокая в аллювиальных дерновых временно избыточно увлажненных почвах, по сравнению с иловато-торфяно-глеевыми (табл. 1). Однако большую озабоченность вызывают именно торфяные почвы, которые с одной стороны, требуют внесения повышенных доз медьсодержащих удобрений, а с другой – наиболее подвержены к аккумуляции валовых форм меди, которые при оптимальных условиях могут стать приоритетными загрязнителями.

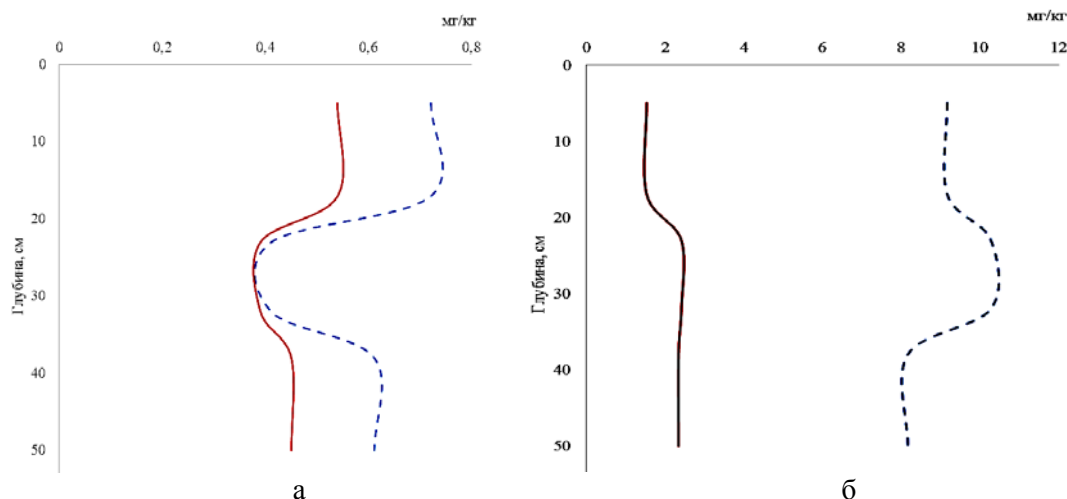


Рисунок 1 – Распределение валовых и подвижных форм меди в профиле почв

Примечание: здесь и далее: а) аллювиальная дерновая временно избыточно увлажненная; б) иловато-торфяно-глеевая: --- – валовые формы; — – подвижные формы

ПДК для валовых форм Pb составляет 32 мг/кг, для подвижных форм – 6 мг/кг [12]. В наших исследованиях диапазон изменения содержания валового Pb в профиле пойменных почв р. Припять

составлял 2,8–8,9 мг/кг. Почвы притеррасной части поймы отличались от почв центральной части большим содержанием валового свинца, что объясняется, возможно, более тяжелым механическим составом почвы. Максимальная концентрация валового Рb зарегистрирована в верхнем горизонте (5–20 см) почвенного профиля иловато-торфяно-глеевой почвы, и составляет 8,9 мг/кг (рис. 2).

В аллювиальной дерновой почве профильное распределение свинца имеет более сложный характер: максимальные значения выявлены в слоях 5–20 см (3,2 мг/кг) и 35–50 см (4,0 мг/кг), минимальное содержание – в слое 20–35 см (2,8 мг/кг). В пойменных почвах содержание подвижных форм Рb изменяется от 0,2 до 1,9 мг/кг, что существенно ниже значения ПДК (6 мг/кг). В профиле как иловато-торфяно-глеевой, так и аллювиальной дерновой почвы, наблюдается возрастание концентрации и перераспределение элемента в нижележащих горизонтах (рис. 2).

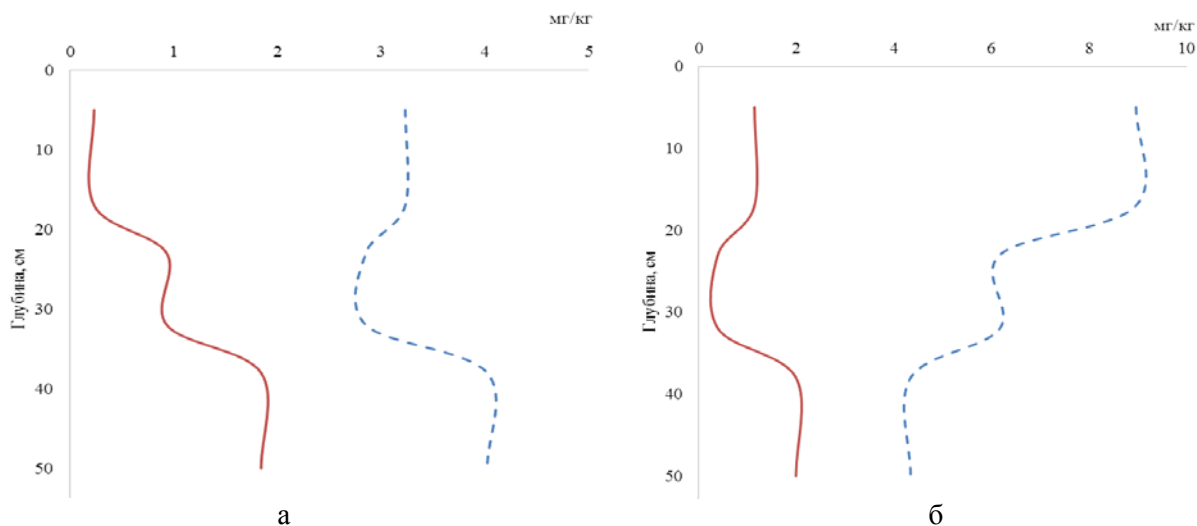


Рисунок 2 – Распределение валовых и подвижных форм свинца в профиле почв

ОДК цинка в песчаных и супесчаных почвах составляет 55,0 мг/кг, ПДК подвижных форм Zn – 23 мг/кг [12]. Анализ данных, полученных в результате опыта показал, что содержание валовых форм цинка в аллювиальных дерновых и иловато-торфяно-глеевых почвах ниже существующего ОДК и в профиле почв изменяется от 1,3 до 9,8 мг/кг (табл. 1).

Максимальное количество валовых форм Zn в аллювиальной дерновой почве приурочено к верхнему (5–20 см) горизонту и составляет 2,4 мг/кг с постепенным снижением его с глубиной (рис. 3), что обусловлено особенностями водного режима. По этому поводу в некоторых исследованиях отмечается, что цинк довольно хорошо удаляется из почвы при промывке [14].

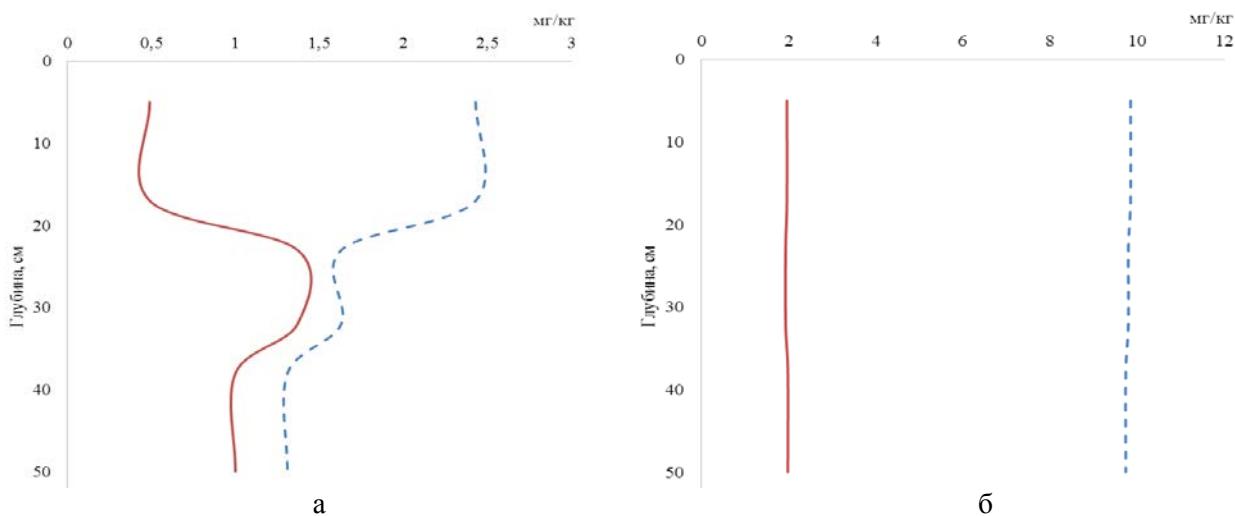


Рисунок 3 – Распределение валовых и подвижных форм цинка в профиле почв

Характер распределения валовых форм Zn по профилю иловато-торфяно-глеевой почвы практически не изменяется и является равномерным (рис. 3).

Среднее содержание подвижных форм цинка в иловато-торфяно-глеевой почве в 2 раза больше (1,9 мг/кг), чем в аллювиальной дерновой (табл. 1), однако его концентрация не достигает установленных допустимых пределов (23 мг/кг), что свидетельствует о недостатке содержания элемента в почве. Одной из причин этого является то, что при интенсивном сельскохозяйственном производстве происходит вынос химических элементов из почвы с растительной продукцией, что приводит к уменьшению содержания химических элементов биофильного цинка.

В исследованиях отмечается перераспределение подвижных форм Zn по профилю данных почв: содержание подвижных соединений Zn увеличивается до глубины 35 см с последующим снижением. В работах некоторых авторов по этому поводу констатируется, что цинк легко выносится в нижележащие горизонты и накапливается в них, что может объясниться сорбцией элемента илистыми частицами [15].

Выводы

Изучение содержания и профильного распределения химических элементов в аллювиальных (пойменных) почвах является важнейшим условием гарантированного получения нормативно-чистой продукции сельскохозяйственного производства, особенно в условиях техногенного воздействия промышленных предприятий.

Сравнительная оценка содержания химических элементов в аллювиальных (пойменных) почвах нижнего течения р. Припять в районе г. Мозыря показала, что количество валовых форм Pb и Zn находится в пределах регионального фона, в то время как содержание Cu в иловато-торфяно-глеевой почве больше значений регионального кларка в 1,8 раза.

Наибольшие концентрации Cu, Pb и Zn характерны для почв притеррасной поймы, представленных иловато-торфяно-глеевыми почвами.

Количество подвижных форм Cu, Pb и Zn в иловато-торфяно-глеевых почвах составляет около 20% от их валовых содержаний и значительно меньше по сравнению с аллювиальными дерновыми почвами, что связано с более высоким содержанием в них органического вещества.

Перераспределение меди по генетическим горизонтам пойменных почв характеризуется неравномерным распределением по профилю и зависит от типа почв. Если в аллювиальной дерновой временно избыточно увлажненной почве выделяются два максимума содержания общей меди – на глубинах 5–20 см и 35–50 см, то в иловато-торфяно-глеевой – один, на глубине 20–35 см, что отражает ее биоаккумуляцию. В пахотном горизонте аккумулируются медь и цинк.

В профиле как иловато-торфяно-глеевой, так и аллювиальной дерновой почвы, наблюдается возрастание концентрации и перераспределение Pb в нижележащих горизонтах (35–50 см).

Список литературы

1. Добровольский, Г. В., Экологические функции почвы / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин // М.: Изд-во МГУ, 1986. – 137 с.
2. Кудряшова, В. И. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями : дис.... канд. биол. наук : 03.00.16 / В. И. Кудряшова. – С., 2003. – 144 с.
3. Протасова, Н. А. Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья / Н. А. Протасова, А. П. Щербаков // Почвоведение. 2004. – №1. – С. 50–59.
4. Виноградов, А. П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой / А. П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – С. 7–42.
5. Прохорова, Н. В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. В. Прохорова, Н. М. Матвеев, В. А. Павловский. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 1998. – 131 с.
6. ГОСТ 17.4.1.02—83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
7. База данных земельных ресурсов сельскохозяйственных организаций Мозырского района Гомельской области. – Гомель: Гомельгипрозем, 1997.
8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
9. Методика выполнения измерений содержания металлов в жидких и твердых матрицах методом атомной абсорбционной спектроскопии МВИ. МН 3369-2010: утв. зам. Министра природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ А. В. Лисом. – Минск, 2010.
10. Матвеев, А. В. Геохимические особенности покровных отложений на территории Белорусского Полесья / А. В. Матвеев, В. Е. Бордон, Л. А. Нечипоренко // Литосфера. – 2007. – № 2(27). – С. 147–153.

11. Петухова, Н. Н. Кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н. Н. Петухова, В. А. Кузнецов // Доклады АН Беларуси. – 1992. – Т. 26. – № 5. – С. 461–465.
12. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.12–01–2004. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве / М-во здравоохранения Респ. Беларусь. – Минск, 2004. – 45 с.
13. Кабата–Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата–Пендиас, Х. Пендиас Пер. с англ.. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
14. Касимов, Н. С. Пространственные аспекты фонового геохимического мониторинга. Геохимические методы в экологических исследованиях / Н. С. Касимов, А. Н. Геннадиев, М.Ю. Лычагин. – М.: ИМГРЭ, 1994. – 35 с.
15. Singh Bharat, Singh Mahendra, Dang Y. P. Distribution of forms of zinc in some soils of Haruana./J. Indian Soc. Soil Sci., 1987. 35, N 2, P. 217–224.

A. A. Shimanskaya, S. S. Pazniak

PROFILE DISTRIBUTION OF COPPER, ZINC AND LEAD IN THE FLOODPLAIN SOILS OF MOZYR POLESYE

Conducted a study on the content of chemical elements in the alluvial soils of the lower reaches of the Pripyat River near the town of Mozyr showed that the number of total forms of Pb and Zn is within the regional background, whereas the Cu content in the silt-peat-gley soil above the values of the regional clarke 1.8 times. The genetic horizons of the distribution of gross forms of different elements: in the arable horizon accumulate copper and zinc; lead concentration increases in the underlying horizons (35–50 cm), which testifies to its profile distribution in the soil profile.

Р. К. Спиоров, А. Н. Никитин

Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В СПЕКТРОМЕТРИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В статье рассмотрены вопросы применения искусственных нейронных сетей в спектрометрии радиоактивных излучений. Представлен обзор состояния проблемы на современном этапе. В заключении приведены преимущества и недостатки применения нейронных сетей в обработке спектрометрической информации.

➤ **Ключевые слова:** нейронные сети, спектрометрия, радиоэкология.

Введение

Качественный и количественный анализ радиоактивных изотопов требуется при описании и оценке радиационной обстановки для контроля окружающей среды в радиоэкологии, радиационной медицине и других смежных дисциплинах, а также для организации защиты от ионизирующего излучения в радиационной безопасности. На сегодняшний день для измерения ядерных излучений повсеместно нашли широкое применение спектрометрические методы анализа. Тем не менее, спектрометрические исследования являются непростой задачей вследствие самой природы ионизирующего излучения. И, несмотря на то, что с каждым годом совершенствуются по всем направлениям методы подготовки образцов к анализу (пробоподготовка, радиохимическое разделение, изготовление счетных мишеней), а также увеличиваются чувствительность и разрешение детекторов и других аппаратных компонентов современных спектрометров, обработка спектрометрической информации невозможна без вмешательства человека. Ю. А. Зайцев [1] отмечает, что при машинной обработке аппаратных спектров разнообразие условий обработки резко снижает производительность труда, усложняет операторскую работу, приводит к грубым ошибкам.

Существует множество способов и уже реализованных программных продуктов с классическими подходами для обработки спектров излучения, однако актуальным и активно развивающимся на сегодняшний день является вопрос о применении с этой целью парадигмы искусственных нейронных сетей. Нейронные сети успешно зарекомендовали себя в различных областях естествознания, а также в бизнесе, технике и других задачах, связанных с классификацией, прогнозированием и управлением [2]. Преимущества применения нейронных сетей заключаются, во-первых, в скорости обработки информации (основные вычисления приходятся на момент обучения), во-вторых, в автоматизации процесса (исключено человеческое влияние) – требуется в тех случаях, когда необходим быстрый ответ, но не менее важна точность.

Цель статьи – анализ возможности использования нейронных сетей для обработки спектрометрической информации при измерении активности радиоактивных изотопов.

Оценка качества спектра

Активное изучение вопроса возможности применения нейронных сетей для обработки спектрометрической информации началось в середине 90-х годов XX в. после публикации «Атомный спектральный анализ посредством искусственных нейронных сетей при управлении отходами» исследователей из США Р.Е. Keller, L. J. Kangas и соавторов [3]. Перед авторами возникла проблема быстрого и качественного определения радиоактивных изотопов в огромной массе токсичных отходов, образовавшихся в результате сорокалетнего (на момент написания публикации) производства плутония на Хэнфордском комплексе. Исследователи поставили перед собой цель продемонстрировать применение парадигмы нейронных сетей для обработки информации в реальном времени, а именно: для автоматизированной идентификации изотопов-загрязнителей. Ими было рассмотрено две проблемы: во-первых, возможность использования искусственной нейронной сети для определения качества альфа-спектров и, во-вторых, идентификация изотопов исходя из данных гамма-спектров.

При обучении сети авторы использовали данные ста тридцати девяти спектров, отличающихся по качеству, ввиду калибровки прибора или наличию осадка на мембранном фильтре. Предварительно опытными операторами была дана качественная оценка каждому спектру по шкале от нуля до де-

сяти. Коэффициент качества от нуля до трех получили спектры приемлемые для определения уровня плутония, от четырех до шести – допустимые, и, наконец, выше шести – спектры низкого качества, свидетельствующие о необходимости перекалибровки прибора или повторном анализе. Задача нейронной сети состояла в расчете коэффициента качества спектра. Пятьсот двенадцать каналов исходных альфа-спектров были уменьшены до двухсот пятидесяти шести во время получения данных. Из оставшихся необходимую информацию несли каналы в диапазоне от сорока до двухсот тридцати девяти. С целью уменьшения входных данных для нейронной сети, авторы сократили число каналов до двадцати, рассчитав среднее значение счета из десяти последовательных каналов. При этом они отметили, что подобное сокращение разрешения спектра было подходящим для относительно немногих спектров, использованных в описываемом исследовании.

Перед представлением данных нейронной сети, значения из каждого канала во всех спектрах были нормализованы по данным канала с максимальным счетом в каждом спектре. Структура нейронной сети была следующей: двадцать входных нейронов на которые подавались нормализованные значения со спектров уменьшенного разрешения, один скрытый слой, состоящий из пятнадцати нейронов, и один выходной нейрон, выдающий коэффициент качества спектра. Для обучения нейронной сети использовали стандартный алгоритм обратного распространения ошибки. Сеть обучали в течение трех тысяч эпох до начала постоянного увеличения ошибки валидации. После обучения качество нейронной сети было проверено тестированием, в котором использовали четыре одинаковые по количеству группы спектров, не участвующих в обучении. Отклонению в пределах ± 1 значения коэффициента качества соответствовало 83,5% спектров. Таким образом, авторы доказали возможность передачи знаний о качестве альфа-спектра от оператора искусственным нейронным сетям. К подобным выводам приходят также ученые из Японии [4], Великобритании [5] и Индонезии [6], подчеркивая качественное выполнение поставленных задач.

Идентификация радиоактивных изотопов

Еще одно применение нейронных сетей, как отмечают М. К. Alam, S. L. Stanton и другие исследователи [7], возможно в случае решения проблемы автоматической идентификации радиоактивных изотопов в реальном времени по спектрам гамма-излучения. Традиционный подход к идентификации искомого изотопа по спектру гамма-излучения сводится к поиску пика и подходящих кривых. Этот подход инициирует повторяющийся процесс разложения и восстановления спектра до тех пор, пока создаваемый математическими методами спектр не будет соответствовать истинному. Зачастую этот процесс требует большого объема вычислений, а нередко – и ручного вмешательства. Нейронная сеть в свою очередь использует распознавание образов на всем спектре.

Успешное решение этой проблемы представлено в разработках украинских ученых А. В. Кочергина и С. С. Пивоварцева [8]. Авторы предлагают использовать метод идентификации радионуклидов по реконструированному физическому спектру гамма-излучения с использованием трехслойной нейронной сети прямого распространения. В терминологии нейронных сетей данная задача относится к классу классификационных, для решения которой применимы многослойные полносвязные сети прямого распространения. Ввиду того, что условия и временные ограничения процедуры измерения и идентификации приводят к тому, что в большинстве случаев результирующий гамма-спектр имеет сложный характер со значительным количеством мультиплетов, тяжелых для идентификации при реальных уровнях скорости счета, ненамного превышающих фоновую загрузку детектора, число одновременно идентифицированных изотопов не может быть велико, поэтому авторы принимают решение ограничить число одновременно идентифицируемых нуклидов пятью. При этом отмечают, что столкнулись со значительными трудностями при попытке построить и обучить одну общую нейронную сеть для одновременной однопроходной идентификации любого нуклида использованной библиотеки нуклидов. В связи с этим ими было принято решение перейти к многопроходной процедуре идентификации, когда для поиска каждого нуклида из библиотеки строится и тренируется отдельная искусственная нейронная сеть.

В качестве входных данных А. В. Кочергин и С. С. Пивоварцев использовали восстановленный 256-канальный спектр гамма-излучения, при этом под восстановленным спектром понимается энергетическое распределение плотности потока гамма-квантов, оцененное по аппаратному спектру. Применение не реальных аппаратных спектров, а модельных, объяснили практической невозможностью экспериментального получения спектров всех возможных комбинаций нуклидов и их относительных активностей. Для обучения сети применяли метод сопряженных градиентов с адаптивной корректировкой длины шага.

В результате исследования ими были сделаны следующие выводы: во-первых, метод идентификации нейронными сетями радиоактивных изотопов по гамма-спектру достаточно трудоемок на предварительном этапе и чувствителен к качеству и количеству информации в обучающей выборке, во-вторых,

обученная нейронная сеть показала результаты близкие к 100 % для идентификации единичных нуклидов с простым линейчатым спектром, но при этом отмечается, что при идентификации нуклидов, обладающих сложным линейчатым спектром, результаты неоднозначны, в-третьих, ввиду несомненного преимущества благодаря однопроходной процедуре идентификации, метод является перспективным и нуждающимся в дальнейшем развитии, в частности, ограничением входных данных обучающей выборки теми каналами, в которых могут находиться пики полного поглощения определяемого изотопа.

Определение отношения активностей

Еще одной немаловажной проблемой, с которой успешно справляются искусственные нейронные сети при обработке спектрометрической информации, является анализ отношений активностей одного элемента к другому. Данная проблема очень часто возникает в радиоэкологии в связи с необходимостью определения типа источника загрязнения: является ли он природного происхождения или же антропогенного. Но приходится ее решать и в атомной энергетике, при управлении радиоактивными отходами, в медицинской физике, геологии, геохронологии [9] и других естественнонаучных дисциплинах, а также при скрининге на международных границах [10].

В качестве примера успешного решения такого рода задач нейронными сетями, можно привести недавнее исследование отношений активности урана-234 к урану-238 проведенное иранскими учеными M. R. Einian, S. M. R. Aghamiri и R. Ghaderi [11]. Для природного урана отношение удельной активности $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в почве, как правило, варьирует от 0,5 до 1,2, для урана техногенного происхождения это значение превышает 1,2 (обогащенный уран) или же ниже 0,5 (обедненный уран) [12]. Количественное определение урана проводят радиохимическим методом, однако из-за недостаточно качественной очистки от железа, радия-226 и других элементов, пик урана-234 на альфа-спектре может быть ассиметрично расширен и в этом случае происходит наложение пиков альфа-частиц урана-234 и урана-238, что затрудняет интерпретацию результатов. Авторы пошли по альтернативному пути обработки таких спектров посредством применения искусственных нейронных сетей по нескольким причинам. Во-первых, главное преимущество нейронных сетей, по их мнению, состоит в том, что нет необходимости в разработке параметрической математической модели, т.к. сеть обучается на примерах и обрабатывает варианты на основании входных и выходных данных, не имея никаких предположений о характере их взаимосвязи. Во-вторых, искусственные нейронные сети устраняют ограничения классических подходов, получая необходимую информацию из данных, поступающих на вход. При этом отмечается, что для обучения необходимо достаточное количество исходных данных.

В описываемой работе следует отметить интересный подход исследователей, примененный для уменьшения количества входных нейронов. Проблема многочисленных входов выражается в увеличении сложности структуры сети, что нежелательно, поскольку приводит к ухудшению возможностей нейронной сети к обобщению. Для уменьшения входных нейронов, авторами была отобрана та часть спектра урана, которая лежит в диапазоне 3,5–5,5 МэВ. В этот диапазон попадают три пика соответствующие альфа-частицам, характерным для урана-238, урана-234 и урана-232, используемого в качестве метки. Разрешение спектра было уменьшено в два раза, путем расчета среднего значения счета импульсов из двух соседних каналов. По этим данным построили график, на оси абсцисс которого располагалась энергия каналов, а на оси ординат сумма счета импульсов в предыдущих каналах и текущем. На новой кривой пики выглядят как резкое увеличение наклона кривой средних. С другой стороны, там, где пиков нет, располагаются области минимального наклона. Рассчитав для каждой точки значение наклона с шагом в десять каналов, были отобраны четыре точки, значение наклона которых составляло от 0 до 1%. Их значения были нормализованы от нуля до единицы и использовались в качестве входных данных для нейронной сети.

M. R. Einian, S. M. R. Aghamiri и R. Ghaderi в качестве архитектуры сети и обучающего алгоритма были выбраны многослойная нейросеть прямого распространения и алгоритм обучения обратной связи Левенберга-Марквардта, которые характеризуются простотой и хорошей способностью к обобщению. Нейронная сеть имела четыре ввода, один скрытый слой и один выходной нейрон. На вводы подавались значения с оси ординат выбранных точек, вывод показывал отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$. В качестве передаточной функции для нейронов скрытого слоя использовали сигмоидальную функцию гиперболического тангенса, для выходного нейрона – линейную функцию. Количество скрытых нейронов колебалось от 5 до 60 ввиду отсутствия какого-либо общего правила определения числа нейронов в скрытом слое. Для тестирования сети использовали две группы данных: первую из тридцати спектров урана техногенного происхождения и вторую из сорока пяти спектров урана природного происхождения. Проверка качества работы сети проведена по нескольким статистическим индексам: коэффициенту корреляции (используется для определения линейной зависимости предполагаемых и экспериментальных значений), средней абсолютной ошибке прогноза (для

оценки точности прогноза) и среднеквадратической ошибке (указывает на несоответствие между предполагаемыми и экспериментальными значениями).

В результате авторами делаются следующие выводы: во-первых, наиболее оптимальной производительностью обладает нейронная сеть с десятью скрытыми нейронами; во-вторых, сеть с вышеописанной архитектурой показала превосходные результаты для разделения проб урана антропогенного происхождения и естественного, что подтверждается статистическими индексами, в-третьих, метод нейронных сетей может быть использован для определения соотношения активностей радиоактивных изотопов, что найдет применение при проверке контроля качества, быстром скрининге и при проведении процедур классификации.

Стоит отметить, что проблему анализа отношений активностей можно отнести как к задачам классификации, так и к частному случаю задач количественного анализа.

Количественное определение радиоактивных изотопов

Последнему типу задач посвящены работы исследователей из Испании [13], Франции [14], России [15] и др. В работе египетского ученого М. Е. Medhat [16] рассмотрены проблемы не только качественного определения изотопов, но и оценки их активностей в источниках естественного происхождения.

Автор рекомендует использовать трехслойные модели искусственных нейронных сетей с одним скрытым слоем, при этом подчеркивая, что нет никаких теоретических обоснований использовать более двух скрытых слоев нейронов. В своей работе он уменьшил разрешение спектра гамма-излучения урана-238, тория-232 и калия-40 до двадцати четырех каналов и использовал эти данные для нейронов входа. Опытным путем подбиралось число нейронов в скрытом слое – от одного до десяти, а также проводился поиск оптимального количества эпох при обучении.

В заключении М. Е. Medhat отмечает, что, во-первых, наилучшие результаты показала нейронная сеть с архитектурой, в которой число нейронов в скрытом слое равно восьми, во-вторых, оптимальное количество эпох для обучения составило двадцать тысяч, при превышении этого значения начинает расти среднеквадратическая ошибка, и, наконец, в-третьих, искусственная нейронная сеть показала хорошие результаты для определения активности перечисленных выше изотопов.

Выводы

Таким образом, использование искусственных нейронных сетей в обработке спектрометрической информации остается актуальной проблемой, решение которой позволит повысить эффективность и точность радиационных измерений. Основные задачи, которые успешно могут решать нейронные сети сводятся к следующим: оценка качества полученного спектра, качественный анализ (идентификация нуклидов, задачи классификации), анализ отношений активности изотопов (частный случай количественного анализа, задачи классификации), а также количественный анализ (определение удельной активности изотопов).

Из преимуществ нейронных сетей, по сравнению с классическими подходами можно отметить отсутствие потребности в сложной математической модели, ускорение обработки большого количества данных, исключении влияния человека на данном этапе. Множество общепринятых статистических критериев позволяют достоверно оценить качество работы сети.

Тем не менее, анализ литературных данных показал, что требуется более глубокая проработка следующих вопросов: работа сети с целым спектром, а не с отдельными пиками излучения, автоматизированный поиск зон интересов, использование на стадии обучения не модельных, а реальных спектров, работа с образцами различной природы. В частности, анализ биологических образцов более сложен ввиду большого количества органических веществ, которые могут быть не в полной мере отделены радиохимическим методом и оказывают влияние на качество получаемых спектров. Кроме того, совершенно не изучены способности нейронных сетей проводить анализ образцов со слабой активностью.

Однако, несмотря на перечень слабоизученных вопросов, применение искусственных нейронных сетей в обработке спектрометрической информации представляется возможным благодаря ряду несомненных преимуществ по сравнению с классическими подходами.

Список литературы

1. К вопросу о стандартизации и универсализации гамма-спектральных методов анализа / Ю. А. Зайцев // Спектрометрические методы анализа радиоактивного загрязнения почв и аэрозолей – 1974. – С. 8.
2. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design and application / I. A. Basheer, M. Hajmeer // Journal of microbiological methods – 2000. – №. 43. – P. 3–31.

3. Nuclear Spectral Analysis via Artificial Neural Networks for Waste Handling / P. E. Keller, L. J. Kangas, G. L. Troyer, Sh. Hashem, R. T. Kouzes // IEEE Transactions on Nuclear Science –1995. – Vol. 42, № 4. – Pp. 709–715.
4. Application of neural networks for the analysis of gamma-ray spectra measured with a Ge spectrometer / E. Yoshidaa, K. Shizumaa, S. Endoa, T. Okab // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research – 2002. – Pp. 557–563.
5. Application of artificial neural networks for water quality prediction / A. Najah, A. El-Shafie, O. A. Karim, Amr H. El-Shafie // Neural Comput & Applic – 2013. – № 22. – Pp. 187–201.
6. Pengembangan spektrometer sinar-gamma dengan sistem identifikasi isotop radioaktif menggunakan metode jaringan syaraf tiruan / M. Syamsa Ardisasmita // Risalah Pertemuan Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi – 2001. – Pp. 117–124.
7. Near-Infrared Spectroscopy and Neural Networks for Resin Identification / M. K. Alam, S. L. Stanton, G. A. Hebner // Spectroscopy – 1994. – Pp. 30–40.
8. Нейронная сеть для идентификации нуклидов по гамма-спектру / А. В. Кочергин, С. С. Пивоварцев // Искусственный интеллект – 2008. – № 4. – С. 600–604.
9. Difficulties in using $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratios to detected enriched or depleted uranium / R. L. Fleischer // Health Phys. – 2008. – № 94 (3). – Pp. 292–293.
10. The use of artificial neural networks in PVT-based radiation portal monitors / L. J. Kangas, P. E. Keller, Ed. R. Siciliano, R. T. Kouzes, J. H. Ely // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research – 2008. – Pp. 398–412.
11. Application of neural network method to detect type of uranium contamination by estimation of activity ratio in environmental alpha spectra / M. R. Einian, S. M. R. Aghamiri, R. Ghaderi // Journal of Environmental Radioactivity – 2016. – № 151. – Pp. 75–81.
12. Radio ecological survey at selected sited hit by depleted uranium ammunition during the 1999 Kosovo conflict / U. Sansone [et al.] // Sci. Total Environ. – 2001. – № 281. – Pp. 23–35.
13. A new approach to the analysis of alpha spectra based on neural network techniques / A. Baeza [et al.] // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. – 2011. – Pp. 450–453.
14. Application of neural networks to quantitative spectrometry analysis / V. Pilato, F. Tola, J. M. Martinez, M. Huver // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. –1999. – Pp. 423–427.
15. Преобразование спектров с использованием искусственных нейронных сетей / С.В. Малиновский, И. А. Каширин, В. А. Тихомиров // Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии – 2011. – С. 21.
16. Artificial intelligence methods applied for quantitative analysis of natural radioactive source / M. E. Medhat // Ann. Nucl. Energy – 2012. – № 45. – Pp. 73–79.

R. K. Spirov, A. N. Nikitin

NEURAL NETWORKS IN SPECTROMETRY OF RADIOACTIVE RADIATIONS: THE PROBLEM CONDITION

In article questions of application of artificial neural networks in spectrometry of radiations are considered. The review of a condition of a problem at the present stage is presented. In the conclusion advantages and lacks of application of neural networks of processing of the spectrometer information are brought.

**А. В. Бурло¹, А. А. Чувашова¹, А. М. Павлюченко¹,
Н. В. Лещинская¹, И. П. Наркевич²**

¹ Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», г. Минск, Республика Беларусь

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

ЭМИССИЯ ЗАКИСИ АЗОТА НАРУШЕННЫМИ ТОРФЯНЫМИ ПОЧВАМИ: КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА И ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

В статье представлены результаты двухлетнего мониторинга потоков закиси азота с нарушенных торфяных почв различного типа землепользования. В рамках исследования были выявлены тенденции возникновения высоких выбросов закиси азота после выпадения атмосферных осадков или при температурах среды близких к 0 °С. Среднегодовой уровень грунтовых вод и годовая сумма атмосферных осадков являлись основными факторами, которые определяют годовую эмиссию закиси азота на нарушенных торфяных почвах.

► **Ключевые слова:** эмиссия закиси азота, денитрификация, торфяные почвы, нарушенные торфяники, уровень грунтовых вод, атмосферные осадки.

Введение

В пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) утверждается с 95-процентной достоверностью, что более половины наблюдаемого повышения средней глобальной приземной температуры в 1951–2010 гг. обусловлено увеличением концентраций парниковых газов и другими антропогенными воздействиями [2]. Закись азота (N₂O) относят к одному из основных парниковых газов. Несмотря на то, что вклад этого газа составляет лишь около 6% (доля диоксида углерода – 63%, метана – 18%) в антропогенный парниковый эффект, N₂O обладает очень высоким потенциалом воздействия на климатическую систему относительно единицы массы или одной молекулы (в 265 раз выше, чем воздействие одной молекулы CO₂ за 100 летний период) [1], поэтому даже незначительное увеличение концентрации этого газа приведет к существенному воздействию на климатическую систему. Кроме того, N₂O считается одним из основных разрушителей стратосферного озонового слоя [2].

Важной особенностью N₂O является его преимущественно биологическое происхождение. Основным источником N₂O является почва, где в результате разнообразных процессов микробной трансформации соединений азота (денитрификации, автотрофной и гетеротрофной нитрификации, процессов взаимодействия нитритов с аминокислотами, хемоденитрификации и др. [4]) происходит образование N₂O.

В 2012 году общая эмиссия N₂O в Республике Беларусь составила 16 399,8 тыс. т. CO₂-экв. (1 т. (N₂O) = 265 т. (CO₂-экв.) для периода 100 лет), составив 18,4% от суммарных выбросов парниковых газов. Основными источниками N₂O в Республике Беларусь являются сельскохозяйственные почвы и системы хранения и распределения навоза в сельском хозяйстве, которые покрывают 97,5% всех национальных выбросов N₂O [8].

Дополнительно известно, что эмиссия N₂O из почв, богатых органическим веществом (ОВ), в частности торфяников, в 4 раза выше, чем из почв с низким содержанием ОВ [2]. Как правило, эмиссии N₂O из естественных насыщенных водой торфяников незначительны, в то время как осушение и культивирование торфяных почв приводит к минерализации азотсодержащих органических соединений и деградации торфа, что способствует образованию N₂O [4].

В Республике Беларусь суммарная площадь торфяников и оторфованных земель составляет порядка 2,929 млн. га или 14,2% от всей территории, из которых около 1,5 млн. га осушено для использования в сельском и лесном хозяйстве, добычи торфа. В сельском хозяйстве используется 1068,2 тыс. га осушенных земель с торфяными почвами, из которых около 96% составляют земли с торфяными почвами низинного типа и 4% – земли с торфяными почвами верхового и переходного типов [5]. Из указанных данных следует, что именно осушенные сельскохозяйственные торфяники низинного типа будут являться одним из ключевых источников N₂O в условиях Республики Беларусь, и поэтому их точная количественная оценка представляет наибольший интерес.

В Республике Беларусь расчет эмиссии N_2O с поверхности торфяников производится согласно ТКП 17.09-02-2011 (02120), где принимается, что 1 га осушенных низинных торфяных месторождений выделяет порядка 8,9 кг(N_2O)/год и порядка 1,8 кг(N_2O)/год с разрабатываемых и выработанных низинных торфяных месторождений [7]. В то же время, в «Дополнение 2013 г. к Руководящим принципам МГЭИК национальных кадастров парниковых газов, 2006: водно-болотные угодья» представлена более подробная классификация осушенных торфяных почв и соответствующие им значения выделения N_2O . Согласно данным МГЭИК выделения N_2O с поверхности осушенных органических почв (торфяников) низинного типа в условиях умеренного климата составляет: 47,6 кг(N_2O)/га·г – пахотные земли; 30 кг(N_2O)/га·г – глубоко осушенные луга и пастбища; 5,9 кг(N_2O)/га·г – неглубоко осушенные луга и пастбища; 10,3 кг(N_2O)/га·г – осушенные лесные торфяники; 1,1 кг(N_2O)/га·г – разрабатываемые торфяные месторождения (тип торфа не указан). Таким образом, очевидно несоответствие оценок эмиссии N_2O с осушенных торфяников в указанных документах, что указывает на необходимость проведения дальнейших исследований в этой области [2].

Целью данной работы является:

- оценить эмиссию N_2O с торфяных почв в условиях Республики Беларусь;
- определить основные факторы среды, влияющие на потоки N_2O ;
- разработать рекомендации по оценке эмиссии N_2O с торфяников.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования было выбрано восемь полевых опытных площадок, установленных на низинных торфяниках с различными типами землепользования и растительным покровом, уровнем залегания грунтовых вод (УГВ), мощностью торфяного слоя, содержанием углерода и азота в торфе. Предметом исследования являлась количественная оценка потоков эмиссии (в некоторых случаях поглощения) N_2O с поверхности исследуемых полевых площадок. Полевые площадки располагались на четырех торфяных месторождениях, три из которых находятся в осушенном состоянии и одно месторождение в состоянии, близком к естественному. Площадки располагались на следующих торфяных месторождениях:

1. Низинное осоковое болото (ОБ). Расположено вблизи д. Здитово Березовского р-на Брестской обл. В 60-ых годах прошлого века через торфяник были прорыты мелиоративные каналы (глубиной 0,5 м), которые на сегодняшний день заросли болотной растительностью и илом, и, по видимому, уже не выполняют своей дренирующей функции. Примерно до 2000-ых годов исследуемый участок использовался местным населением в качестве сенокосных угодий. На сегодняшний день исследуемый участок болотной экосистемы более не используется в хозяйственных целях и находится в состоянии, близком к естественному. На данном торфяном месторождении была установлена опытная площадка – «ОБ» (координаты: 52°25.239'с.ш.; 25°16.220'в.д.).

2. Выработанное (В) торфяное месторождение низинного типа. Расположено вблизи д. Бартешиха Воложинского р-на Минской обл. В 1990 году исследуемый участок был осушен, и затем с 1992 г. до 1995 г. на нем проводилась промышленная добыча торфа. В 2007 г большая часть торфяного месторождения была повторно обводнена. Исследование эмиссии N_2O проводилось на участке, который остался в осушенном состоянии (координаты :54°05.896' с.ш.; 26°17.528' в.д), то есть в условиях, близких к разрабатываемым и выработанным торфяным месторождениям. На данном участке были установлены три опытные площадки: «В1», «В2» и «В3».

3. Осушенный сельскохозяйственный (С) торфяник низинного типа. Торфяник расположен вблизи д. Мастыки Березовского р-на, Брестской обл. Осушен в 1975 г. и затем активно использовался в сельском хозяйстве в качестве пахотных или сенокосных угодий. На исследуемом участке (координаты: 52°23.316' с.ш.; 25°09.930' в.д.) были установлены три опытные площадки: «С1» – используется в качестве пашни, участки «С2» и «С3» используются как сенокосные угодья.

4. Заброшенные сельскохозяйственные (ЗС) угодья на осушенном торфянике низинного типа. Торфяник расположен вблизи д. Выгонощи Ивацевичского р-на Брестской обл. Осушен в 1970-ых годах. Установлена одна опытная площадка – «ЗС» (кординаты: 52°38.019' с.ш.; 25°49.476' в.д.). Данный участок ранее использовался как пашня, однако около десяти последних лет не культивировался и на сегодняшний день зарос крапивой (*Urtica dioica*), что типично для заброшенных сельхоз земель. Дополнительно характеристики опытных площадок представлены в табл. 1.

Измерения потоков N_2O с поверхности торфяной почвы проводилось с помощью метода закрытых «эмиссионных камер» [3]. Камера представляет собой герметичный сосуд (например, куб), одна из сторон которого открыта (то есть отсутствует). Открытой стороной камера устанавливалась на поверхность почвы, таким образом, что поток газа из почвы попадает во внутреннее пространство

камеры. В результате концентрация газа внутри камеры увеличивается. Далее, по скорости изменения концентрации рассчитывается поток газа с участка торфяной почвы, накрытого камерой [3].

Таблица 1

Характеристики опытных площадок

Тип	пл.	С	N	УГВ	МТ	Состав растительного покрова
Осоковое болото	ОБ1	36,2	2,8	-8	130	<i>Carex nigra</i> , <i>Carex rostrata</i> , <i>Calamagrostis canescens</i> , <i>Potentilla palustris</i>
	ОБ2	37,1	2,7	-9	130	<i>Carex nigra</i> , <i>Carex rostrata</i> , <i>Calamagrostis canescens</i> , <i>Potentilla palustris</i>
Заброшенная торфодобыча	В1	45,2	2,5	-31	119	Открытый торф и <i>Pinus sylvestris</i>
	В2	44,6	2,5	-34	119	Открытый торф с <i>Potentilla norvegica</i> и <i>Poa trivialis</i>
	В3	44,3	2,6	-43	126	Открытый торф без растительности.
С-х. угодья (пашня)	С1	26,2	1,8	-59	49	В различные периоды: <i>Triticum aestivum</i> , <i>Solanum tuberosum</i> , без растительности
С-х. угодья (сенокос)	С2	20,5	1,5	-54	45	<i>Phleum pratense</i> , <i>Stellaria graminea</i> , <i>Sonchus arvensis</i>
	С3	27,3	2,0	-67	57	<i>Phleum pratense</i> , <i>Cirsium arvense</i> , <i>Potentilla anserina</i> , <i>Poa pratensis</i>
Заброшенные с-х. угодья	ЗС	23,9	1,8	-89	170	<i>Urtica dioica</i> и <i>Elytrigia repens</i>

Примечание: пл. – название площадки; С – доля углерода в абсолютно сухом массе верхнего слоя торфа (%); N – доля азота в абсолютно сухой массе верхнего слоя торфа (%); УГВ – среднегодовой уровень грунтовых вод; (см); МТ – мощность торфяной залежи (см)

Измерение концентрации N₂O внутри камеры проводилось с помощью отбора небольших проб воздуха (60 мл) через равные промежутки времени (от 7 до 15 минут). Концентрация N₂O в образцах определялась на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл 5000.2» с пламенным ионизационным детектором (ПИД). Расчет потока N₂O из почвы определялся с использованием программного пакета «Flux» открытой программной среды R.

Измерения потоков N₂O на опытных площадках проводились в трехкратной повторности. Для этого на каждой из площадок выбиралось три квадратных участка (70×70 см) торфяной почвы, с поверхности которых одновременно измеряли выделение N₂O. На каждый участок в почву на глубину около 15 см вкапывалась пластиковая рамка, то есть по три рамки на площадку. Рамка служила основанием для камеры во время измерения, обеспечивая герметичность системы почва-камера.

Исследования потоков N₂O с торфяников выполнялись в период с июля 2010 г. по август 2012 г., кроме площадки ЗС, где измерения выполнялись с апреля 2012 г. по апрель 2013 г. Периодичность проведения измерений составляла 1–3 недели в летний период (апрель-октябрь) и один раз в месяц в зимний (ноябрь-март). Проведение полевых измерений включало в себя одновременное измерение потоков N₂O с трех участков на каждой из площадок, измерение УГВ, температуры воздуха и почвы на глубинах 5, 10 и 20 см. Более подробно устройство камер, методика расчета потоков и протокол проведения эксперимента описаны в работе [3].

Результаты и их обсуждение

Продолжительность исследования потоков N₂O составила около двух лет на всех площадках, кроме площадки «ЗС» (один год), что позволяет проследить и количественно оценить сезонную, годовую и межгодовую динамику потоков эмиссии N₂O. За период исследования на всех площадках суммарно было проведено 1011 единичных измерений потоков N₂O с торфяной почвы, из которых в 67 измерениях наблюдалась абсорбция N₂O торфяной почвой (поток от -0,14 до -0,05 мг/м²ч), 569 измерений показали поток близкий к нулю (от -0,05 до 0,05 мг/м²ч), и 375 измерений показали выделение N₂O (от 0,05 до 2,76 мг/м²ч). В среднем на каждой из площадок за два года было выполнено 118 измерений, кроме площадки «ЗС» (62 измерений).

Распределение измеренных потоков N₂O по площадкам представлено в виде диаграмм размаха на рис. 1. Как видно на диаграмме, наиболее высокие выделения N₂O (площадки, где медианное значение потока выше нулевого), наблюдались на площадках «С3» и «ЗС», и в меньшей степени на площадках «С1» и «С2». На площадках, установленных на выработанном торфянике и на естественном осоковом болоте, медианные значения измеренных потоков были близки к нулю.

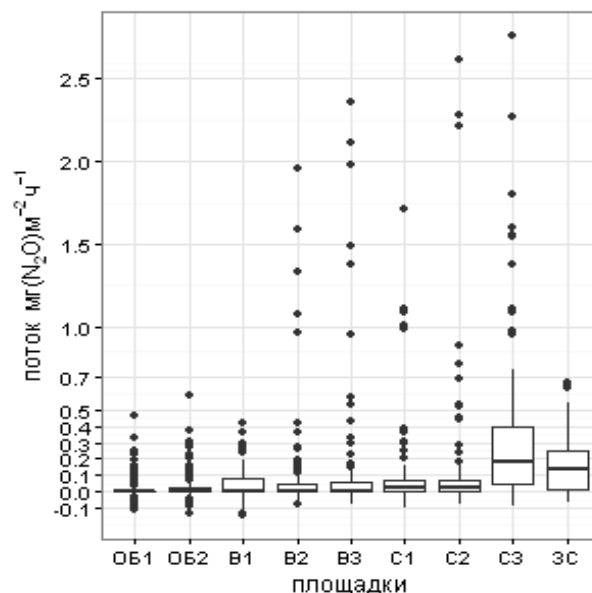


Рисунок 1 – Диаграмма размаха измеренных потоков N_2O , на каждой из опытных площадок, где указаны медиана, нижний и верхний квартили, 1,5-межквартильного размаха и отдельные выбросы

Особый интерес в данном исследовании представляли те единичные измерения, в которых фиксировались потоки N_2O , значительно превышающие значения межквартильного размаха. Эмиссия N_2O с торфяных почв обладает очень высокой временной изменчивостью, поэтому в научной литературе измеренные потоки N_2O разделяют на две категории: 1. «фоновые эмиссии» – небольшие выделения N_2O , которые наблюдаются на протяжении всего года и обладают тенденцией возрастать в теплый период в связи ростом температуры почвы; 2. «эпизодические эмиссии» – высокие выделения N_2O , которые возникают на короткий период времени (от нескольких часов до нескольких дней) и, как правило, вызваны действием различных временных экологических факторов либо явлений [1]. В научной литературе описаны случаи, когда эпизодические потоки N_2O составляли до 80% от всей годовой эмиссии N_2O с исследуемого участка.

Разница между фоновыми и эпизодическими потоками хорошо видна на графике временной динамики потоков N_2O (рис. 2). Наибольшее количество случаев эпизодической эмиссии наблюдалось на осушенном сельскохозяйственном торфянике (площадки «С1», «С2» и «С3»). На выработанном торфянике (площадки «В1», «В2» и «В3») эпизодическая эмиссия была измерена лишь дважды в августе 2010 г. и июле 2011 г. На естественном осоковом болоте (площадки «ОБ1» и «ОБ2») также присутствуют эпизодические пиковые эмиссии N_2O , однако, максимальная эмиссия на этих площадках была на порядок меньше чем на сельскохозяйственном и выработанном торфяниках.

В нашем исследовании мы попытались проанализировать возникновение пиковых эпизодических эмиссий, и определить факторы среды, которые могли быть причиной их возникновения и в дальнейшем служить для предсказания возникновения пиковых потоков N_2O и их значений. С этой целью была составлена корреляционная матрица, которая включала в качестве зависимой переменной потоки N_2O , которые были выше верхнего квартиля на каждой из площадок, а в качестве независимых переменных – следующие факторы внешней среды: температура почвы, температура воздуха, значение уровня грунтовых вод, содержание азота в верхнем слое торфяной почвы, количество выпавших атмосферных осадков в день проведения измерений потоков N_2O , суммарное количество осадков, выпавших за предыдущие три дня, значения уровня грунтовых вод, максимальное колебание УГВ за предыдущие три дня.

Применение корреляционного анализа (коэффициент корреляции Спирмена) показало наличие статистически значимой связи между потоком N_2O с большинством из указанных факторов, однако полученные коэффициенты корреляции были низкими (наиболее высокий коэффициент корреляции $R = 0,27$, $p < 0,003$ для пары «поток N_2O – колебание УГВ»). Множественная регрессионная модель, которая включала только переменные со статистически значимыми коэффициентами ($p < 0,05$, в нашем случае такими являлись: содержание азота в торфе, сумма осадков за три дня до измерения потоков, колебание УГВ), также была статистически значима, но с низким значением коэффициента детерминации ($R^2 = 0,24$). В дальнейшем мы не использовали множественную модель для предсказания эпизодических пиковых потоков и расчета годовой эмиссии N_2O .

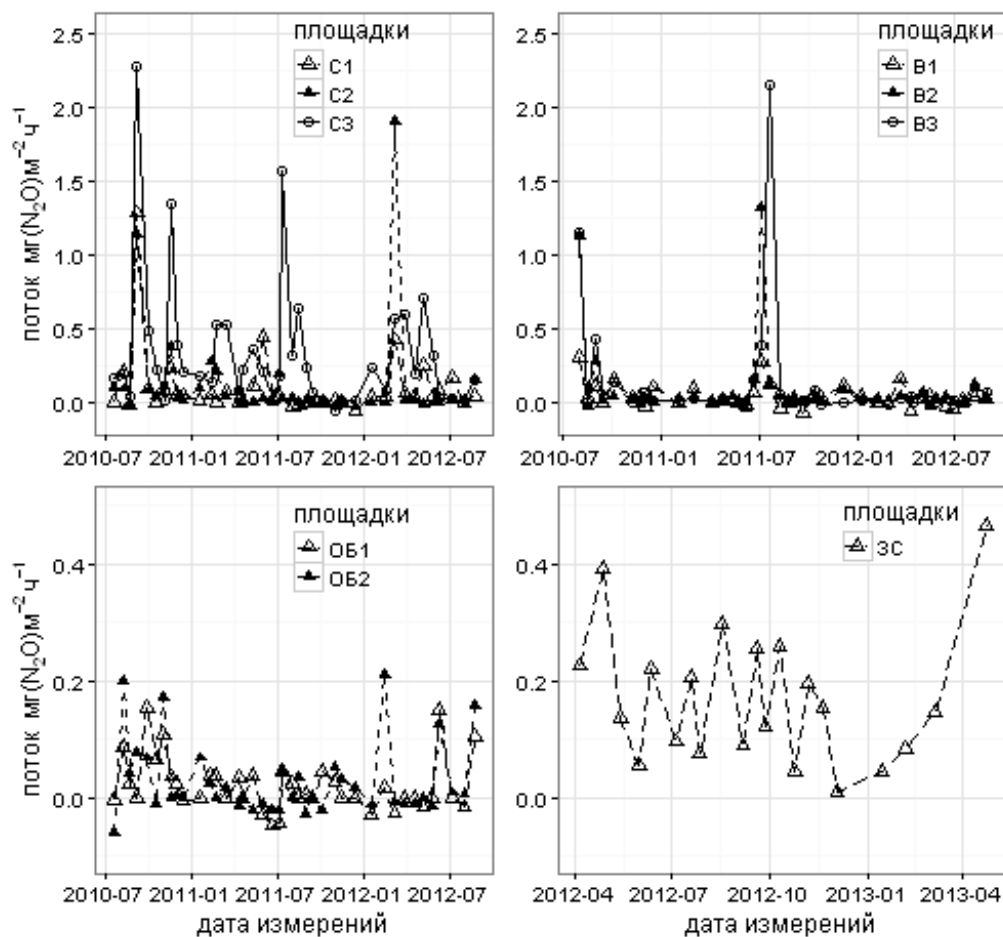


Рисунок 2 – Динамика выделения N_2O с опытных площадок за период исследования. Точкой указан средний поток с площадки во время измерительной кампании

Тем не менее, некоторые тенденции в возникновении пиковых эпизодических эмиссий были обнаружены. В частности, наблюдалось возникновение пиковых эпизодических потоков N_2O после резких возрастаний УГВ (порядка 20–30 см в течение 1–2 дней) в теплый период года. Такие скачки УГВ совпадали с периодами сильных атмосферных осадков (корреляция между резким возрастанием УГВ и атмосферными осадками $R^2 = 0,36$, $p < 0,01$), что в свою очередь, очевидно, сопровождалось заполнением почвенных пор водой, увеличению влажности почвы и сокращению доступности кислорода для почвенных микроорганизмов. В сочетании с положительной температурой и высокой влажностью в почвенном профиле формировались оптимальные условия для протекания процесса денитрификации, что вызывало резкий рост эмиссии N_2O из почвы. В нашем эксперименте УГВ непрерывно измерялся автоматическими датчиками на всех площадках, в то время как датчики количества осадков устанавливались на метеорологических станциях, удаленных от опытных площадок на расстоянии до 5–7 км. Вероятно, количество осадков на площадках и метеостанции отличалось и не совпадало по времени, что и обусловило более сильную корреляцию между потоком N_2O и колебаниями УГВ на площадках, чем потоком N_2O и количеством атмосферных осадков на метеостанции.

Еще одна тенденция возникновения пиковых эмиссий была связана с температурным режимом. Были установлены два температурных режима, при которых возникали высокие выделения N_2O . Во-первых, выше описанный эффект воздействия атмосферных осадков (резких повышений УГВ) наблюдался при температурах в диапазоне от 14 °C до 25 °C. Во-вторых, еще один пик эмиссии N_2O наблюдался при температурах воздуха и почвы близких к 0 °C. Несмотря на то, что это явление часто встречается в подобных исследованиях, биогеохимический механизм его еще не достаточно изучен. Считается, что одной из причин является активация денитрифицирующих микроорганизмов во время цикла заморзания-оттаивания почвы [1].

Для расчета годовой эмиссии N_2O необходимо было оценить поток N_2O для каждой из площадок в период между измерительными кампаниями. Так как сильной корреляции между эмиссией N_2O и факторами среды, которые непрерывно измерялись на площадках или метеостанциях, установлено не было, для расчета годовой модели мы использовали линейную интерполяцию между измеритель-

ными кампаниями. Для каждой измерительной кампании рассчитывался средний поток N₂O с площадки, и затем промежуточные потоки N₂O между кампаниями рассчитывались с помощью линейной функции, которая соединяет значения потока на соответствующем временном интервале. Шаг данной модели – одни сутки. Полученные линейные модели эмиссии N₂O представлены на рис. 2. Следует отметить, что применение линейной интерполяции при расчете годовых или сезонных моделей выделения N₂O из почв является общепринятым для такого рода исследований [1]

Годовая эмиссия N₂O рассчитывалась как сумма суточных эмиссий за период 365 дней. Так как измерения потоков N₂O продолжались более двух лет (кроме пл. «ЗД» – один год), мы рассчитали для каждого года с каждой площадки суммарную эмиссию N₂O, также были рассчитаны среднегодовые и медианные значения температуры почвы и воздуха, УГВ, и годовая сумма атмосферных осадков (табл. 2).

Таблица 2

Оценка годовой эмиссии N₂O и факторов среды для каждой площадки

Площадки:		ОБ1	ОБ2	В1	В2	В3	С1	С2	С3	ЗС
Первый год	N ₂ O, кг/га·г	1,5	1,2	4,3	8,7	15,5	11,4	11,3	35,4	—
	УГВ, м	0,06	0,06	-0,31	-0,34	-0,41	-0,58	-0,44	-0,71	—
	Температура, °C	9,2	9,2	8,6	8,6	8,7	9,1	9	9,3	—
	Осадки, мм	813	813	802	802	802	813	813	813	—
Второй год	N ₂ O, кг/га·г	0,5	1,1	0,4	1,8	0,9	5,1	8,4	21,3	8,9
	УГВ, м	-0,24	-0,24	-0,32	-0,35	-0,43	-0,66	-0,57	-0,84	-1,05
	Температура, °C	8,6	8,6	8,2	8,1	8,2	8,8	9	8,9	8,7
	Осадки, мм	518	518	650	650	650	518	518	518	585
Средне-годовой	N ₂ O, кг/га·г	1,0	1,15	2,35	5,25	8,2	8,25	9,85	28,35	8,9
	УГВ, м	-0,09	-0,09	-0,315	-0,345	-0,42	-0,62	-0,505	-0,775	-1,05

Как видно из табл. 2, в полученных оценках эмиссии наблюдались значительные различия между первым и вторым годом (попарное сравнение, тест Вилкоксона, $p = 0,008$), особенно для площадок на выработанном торфянике, где годовая эмиссия отличалась на порядок. Причины таких существенных различий заключались в количестве эпизодических пиковых выделений N₂O, которых, как видно на рис. 2, на площадках «В1», «В2» и «В3» после июля 2011 года измерено не было. Также, вероятно, использование линейной интерполяции между измерительными кампаниями дополнительно увеличивает вклад эпизодической эмиссии, особенно в случаях увеличения временного периода между измерениями. В нашем исследовании доля эпизодической эмиссии составляла более 90% на большинстве исследованных площадок. Очевидно, что в будущих исследованиях необходимо уделять основное внимание именно эпизодическим выбросам N₂O, увеличивая частоту полевых измерений в периоды их возможного возникновения.

Еще одним существенным фактором, повлиявшим на межгодовую разницу эмиссии N₂O, являлась сумма атмосферных осадков между годами. Если в первый год исследования количество осадков составило 120–135% от среднего значения в период 1979–2009 гг., то во втором году количество осадков составило 87–97%. Что в свою очередь, вероятно, увеличивает частоту возникновения эпизодических эмиссий, их пиковые значения и продолжительность.

Для обоих годов справедливо утверждение, что годовая эмиссия N₂O между площадками возрастает с уменьшением среднегодового значения УГВ. Применение регрессионного анализа показало наличие статистически значимой экспоненциальной зависимости между годовой эмиссией N₂O и среднегодовым значением УГВ для каждого года. Площадка «ЗС» не учитывалась в регрессионном анализе, т.к. период измерений там и количество осадков не совпадало с остальными площадками. Ниже представлены уравнение полученных моделей и основные статистические критерии:

$$\text{год. эм. (N}_2\text{O)} [\text{кг/га} \cdot \text{год}] = e^{(-4,094 \cdot \text{УГВ}[\text{м}] + 0,542)} \quad (R^2 = 92, p = 0,00015) \text{ – для первого года мониторинга;}$$

$$\text{год. эм. (N}_2\text{O)} [\text{кг/га} \cdot \text{год}] = e^{(-5,874 \cdot \text{УГВ}[\text{м}] - 1,908)} \quad (R^2 = 83, p = 0,0016) \text{ – для второго года исследований.}$$

Множественный регрессионный анализ, где в качестве предсказывающих переменных использовались среднегодовые значения УГВ, годовая сумма атмосферных осадков, среднегодовая температура воздуха, содержание азота в верхнем слое торфа, содержание углерода в верхнем слое торфа и объёмная плотность верхнего слоя торфяной почвы, не показал статистически значимой модели для предсказания годовых значений эмиссии N₂O на основе перечисленных факторов. Сокращение числа предсказывающих параметров показало наличие статистически значимой множественной регрессионной модели, которая включала годовую сумму атмосферных осадков (АО) и среднегодовое значение УГВ. Уравнение данной модели имело следующий вид:

$$\text{год. эм. (N}_2\text{O) [кг/га} \cdot \text{год]} = e^{(-4,067 \cdot \text{УГВ}_{[м]} + 0,006 \cdot \text{АО}_{[мм]} - 4,276)} \quad (R^2 = 0,65, p = 0,0002).$$

Полученные в рамках исследования оценки годовой эмиссии N₂O были выше значений, указанных в ТКП 17.09-02-2011 (02120), однако ниже предложенных методикой МГЭИК. Наименьшие выбросы N₂O наблюдались на участке естественного осокового болота (площадки «ОБ1» и «ОБ2»), где значение годовой эмиссии варьировало от 0,5 до 1,5 кг(N₂O)/ га·г. На остальных площадках наблюдалось очень высокое варьирование годовых выбросов N₂O, в пределах их типа землепользования. Например, на выработанном торфянике (площадки «В1», «В2» и «В3») эмиссии варьировали от 0,4 до 15,5 кг(N₂O)/ га·г, а на сельскохозяйственных торфяниках (площадки «С1», «С2», «С3» и «ЗС») от 5,1 до 35,4 кг(N₂O)/ га·г. Также в пределах каждого типа землепользования наблюдалась тенденция, когда эмиссии N₂O были выше на площадках с более низким УГВ. Среднегодовые значения УГВ между площадками статистически значимо отличались в соответствии с типом землепользования (среднегодовой УГВ ± стандартное отклонение (м.), естественное болото -0,09±0,17 м, выработанный торфяник -0,36±0,05 м, сельскохозяйственные торфяники -0,68±0,2 м). Таким образом, тип землепользования может быть использован как косвенный показатель для оценки среднегодового значения УГВ, и принимая во внимание обнаруженную зависимость выбросов N₂O от УГВ, может быть использован для грубого предсказания выбросов N₂O с торфяников.

Выводы

В результате проведенных нами исследований установлено:

Эмиссия N₂O с торфяных почв обладает высокой временной изменчивостью, для которой характерной чертой является возникновение высоких «эпизодических» выделений N₂O при определенных условиях среды (например: выпадение обильных атмосферных осадков в теплый сезон года, замерзание -расстраивание почвы при температурах близких к 0 °С).

Оценки годовой эмиссии N₂O на основе линейной модели показывают, что эпизодические пиковые выделения N₂O вносят наибольший вклад (до 90%) в формирование годовой эмиссии с торфяников. В будущих исследованиях необходимо увеличивать частоту проведения измерений потоков N₂O в периоды возможного возникновения эпизодических пиковых эмиссий (после интенсивных атмосферных осадков, и при температурах среды близких к 0 °С). Это позволит более точно оценить годовые значения выделения N₂O.

В рамках исследования была обнаружена статистически значимая взаимосвязь экспоненциального вида между значением годовой эмиссии N₂O с участка и значением его среднегодового УГВ и годовой суммой осадков. Остальные факторы среды и характеристики торфяной почвы на площадках статистически значимых корреляций не показали. Значительная разница эмиссии N₂O между первым и вторым годом исследования, которая, вероятнее всего, объясняется разницей в годовой сумме атмосферных осадков.

Полученные в рамках исследования оценки годовой эмиссии N₂O были выше значений, указанных в ТКП 17.09-02-2011 (02120), однако ниже предложенных методикой МГЭИК. Тип землепользования определяет среднегодовое значение УГВ на торфянике, и таким образом, влияет на годовую эмиссию N₂O.

Исследование выполнялась в рамках проекта международной технической помощи «Восстановление торфяников Беларуси и применение концепции их устойчивого управления – снижение воздействия на климат с эффектом для экономики и биоразнообразия». Деятельность проекта осуществляется при поддержке Программы развития Организации Объединенных Наций в Беларуси и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и финансируется Федеральным министерством охраны природы ФРГ.

Литература

1. Freibauer A. Designing an observation strategy for N₂O //The Continental-Scale Greenhouse Gas Balance of Europe. – Springer New York, 2008. – Pp. 135–151.

2. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
3. Бурло, А. В., Инструментальные методы оценки потоков парниковых газов с торфяников и болотных экосистем / А. В. Бурло, М. Минке, И. П. Наркевич // Природные ресурсы. – 2012. – №2, – С. – 119–129.
4. Кудеяров, В. Н. Азотный цикл и продуцирование закиси азота // Почвоведение. – 1999. – Т. 8. – С. 988–998.
5. О некоторых вопросах в области сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 30 декабря 2015 г., № 1111 // Нац. правовой Интернет-портал Республика Беларусь. – 2016. – 5/41510.
6. Рижия, Е. Я. и др. Прямая эмиссия закиси азота из лугопастбищных почв северо-западного федерального округа Российской Федерации // Агрофизика. – Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2013. – № 1. – С. 9.
7. ТКП 17.09-02-2011 (02120) Технический кодекс установившейся практики. «Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем, осушенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений» Минск: Бел НИЦ Экология, 2011. – 102 с.
8. Шестое Национальное сообщение в соответствии с обязательствами Республики Беларусь по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. РУП «Бел НИЦ «Экология», Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2015.

**A. V. Burlo, A. A. Chuvashova, A. M. Pavluchenko,
N. V. Liashchynskaya, I. P. Narkevitch**

**EMISSION OF NITROUS OXIDE FROM DISTURBED PEAT SOILS:
QUANTITATIVE ASSESSMENT AND INFLUENCE
OF ENVIRONMENTAL FACTORS**

The article presents results of two-years monitoring of nitrous oxide fluxes from disturbed peat soils with different land use types. The study shows that peak emission of nitrous oxide has a tendency to occur after precipitation events or in conditions when environmental temperature was close to 0 °C. The annual average water level and annual sum of precipitation were the main factors that control annual nitrous oxide emission from disturbed peatlands.

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 выравняются 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.*