

ISSN 2079-3928

Природо- пользование

ВЫПУСК 20



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»

Природо- пользование

Сборник научных трудов

Основан в 1996 г.

Выпуск 20



МИНСК

«Минсктиппроект»

2011

УДК 504.(476) (082)

В сборнике приведены результаты исследований по проблемам природопользования и охраны окружающей среды, разработки биосферносоставимых технологий переработки и использования твердых горючих ископаемых, растительного сырья и отходов.

Рассчитан на широкий круг научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области рационального природопользования и экологии.

Главный редактор
член-корреспондент, д-р геол.-мин. наук *А. К. Карабанов*

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

академик, д-р сел.-хоз. наук *Н. Н. Бамбалов*, д-р техн. наук *Н. И. Бerezовский*, д-р техн. наук
Г. П. Бровка, д-р геогр. наук *А. А. Волчек*, канд. геогр. наук *О. В. Кадацкая*, д-р техн. наук *С. В. Какарека*,
канд. техн. наук *Г. А. Камышенко*, д-р геогр. наук *Т. И. Кухарчик* (отв. секретарь), д-р геогр. наук
В. Н. Киселев, член-корреспондент, д-р геол.-мин. наук *А. В. Кудельский*, академик, д-р геогр. наук
В. Ф. Логинов, академик, д-р техн. наук *И. И. Лиштван*, канд. техн. наук *В. Н. Марцуль*, академик,
д-р геол.-мин. наук *А. В. Матвеев*, д-р техн. наук *Э. И. Михневич*, д-р техн. наук *Г. В. Наумова*,
д-р геогр. наук *И. И. Пирожник*, член-корреспондент, д-р хим. наук *А. И. Ратько*, канд. геол.-мин. наук
В. В. Савченко, канд. геогр. наук *М. И. Струк*, канд. хим. наук *А. Э. Томсон* (зам. гл. редактора),
д-р техн. наук *П. Л. Фалюшин*, д-р геогр. наук *В. С. Хомич* (зам. гл. редактора),
академик, д-р сел.-хоз наук *А. Р. Цыганов*

Адрес редакции:
ул. Ф. Скорины, 10, 220114 г. Минск
тел. (017) 267-26-32, факс (017) 267-24-13
E-mail: nature@ecology.basnet.by

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Струк М. И., Живнач С. В.	Подходы к планировочной организации природной составляющей пригородной территории	5
Обуховский Ю. М., Жидкова Т. А.	Картометрический анализ дифференциации природных территориальных комплексов для целей ландшафтной индикации	12
Какарека С. В., Круковская О. Ю.	Потенциал снижения выбросов твердых частиц в атмосферный воздух на территории Беларуси	18
Камышенко Г. А.	Оценка пространственно-временной однородности рядов температуры воздуха Беларуси	26
Савич-Шемет О. Г.	Пространственно-временная структура многолетних колебаний жидких атмосферных осадков на территории Беловежской пущи	35
Нечипоренко Л. А.	Современные геологические процессы в бассейне верхнего Днепра (на территории Беларуси)	41
Сероглазов Р. Р., Кишкина С. Б., Аронов А. Г., Колковский В. М., Аронова Т. И.	К вопросу о связи сейсмических шумов с геологической средой	48
Лис Л. С., Гаврильчик А. П., Агейчик И. В., Макаренко Т. И., Кунцевич В. Б., Мультан С. Т., Калилец Л. П., Пискунова Т. А., Шевченко Н. В.	Обоснование направлений эффективного освоения торфяных ресурсов Минской области	59
Рыжиков В. А., Романкевич Ю. А., Городецкий Д. Ю., Бокая Г. М.	Распределение минеральных водорастворимых веществ в почвах функциональных зон городов с различной техногенной нагрузкой	68
Тыновец С. В., Веренич А. Ф., Рышкель И. В.	Регулирование поемности торфяных почв с целью повышения плодородия и предотвращения деградации органогенного слоя	76
Кравчук Л. А., Рыжиков В. А.	Структура, состояние и устойчивость древесных насаждений в посадках вдоль улиц и дорог в городах Беларуси	81

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В., Немкович А. С.	Причины слабой растворимости гуминовых кислот верхового торфа в воде	91
Гайдукевич О. М., Курзо Б. В., Кляуззе И. В., Зданович П. А.	Динамика сушки сапропеля в радиационно-конвективном режиме	95
Рассоха Н. Ф., Наумова Г. В., Жмакова Н. А.	Об эффективности применения регуляторов роста при выращивании томатов в зимних теплицах на минеральной вате	100
Козловская И. П.	Влияние производственных технологий на формирование экологической нагрузки при выращивании томата в зимних теплицах	105
Степуро М. Ф., Аутко А. А.	Комплексная оценка агроприемов возделывания столовых корнеплодов по биопродуктивным и качественным показателям	111

Наумова Г. В., Козинец А. И., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф., Жмакова Н. А., Голушко О. Г.	Новая корригирующая кормовая добавка «Эколин-4» для высокопродуктивных коров	117
Воронова Н. П.	Инженерный расчет режима затвердения шихты при агломерации	123
Агутин К. А., Бровка Г. П., Романенко И. И.	Установка для комплексного исследования криогенного пучения и процессов тепло- и массопереноса в промерзающих грунтах	129
Научные сообщения		
Кудельский А. В., Самодуров В. П.	К вопросу о захоронении радиоактивных отходов в геологических формациях Республики Беларусь	134
Красноберская О. Г., Соколов Г. А., Назаров В. Н.	Изменение агрохимических свойств легких почв и урожайности сельскохозяйственных культур при внесении сапропеля озера Прибыловичи	139
Соколовская Ю. Г., Фалюшин П. Л.	Пиролиз отходов мебельного производства	143
Дударчик В. М., Коврик С. И., Смычник Т. П.	Возможность использования торфощелочных суспензий для очистки металлсодержащих растворов	147
Хроника		
Логинов В. Ф., Снытко В. А., Хомич В. С.	Природные и социальные вызовы XXI века: ответ географов	151
Лиштван И. И.	XIX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии	154
Лиштван И. И., Лис Л. С.	Памяти замечательного коллеги и выдающегося специалиста в области торфа Александра Петровича Гаврильчика	157

I. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 502.63:711

М. И. Струк, С. Г. Живнач

ПОДХОДЫ К ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИГОРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Приведена оценка существующих подходов к пространственной организации природной составляющей территории, основанных на концепциях зеленой зоны, экологического и природного каркасов, экологической сети.

Предложена принципиальная структурная модель такой организации применительно к пригородной территории.

Показана специфика ранжирования пригородных природных комплексов по экологической значимости, исходя из нужд города.

Устойчивое развитие города во многом зависит от экологического состояния прилегающей к нему территории. Подобная зависимость обусловлена двумя основными причинами.

Первая из причин заключается в том, что данная территория оказывает влияние на формирование городской среды благодаря наличию вещественно-энергетических связей между городом и его окружением. Каналами этих связей выступают преимущественно воздушные и водные потоки, с которыми могут переноситься как загрязняющие вещества, так и, наоборот, чистый воздух и чистая вода.

Вторая причина вытекает из размещения на пригородной территории различных объектов, необходимых для поддержания нормальной жизнедеятельности города. Среди них имеются объекты, выступающие источниками загрязнения окружающей среды – свалки, очистные сооружения, а также объекты, которые предъявляют особенно высокие требования к ее качеству, – зоны отдыха городского населения, городские водозаборы.

Проблемы охраны окружающей среды пригородной территории находят отражение в научных исследованиях, а также в практике территориального планирования. Они касаются путей экологической оптимизации природопользования в ее пределах, в том числе охраны водоемов и лесов ([12, 14, 16], оценки эколого-хозяйственного состояния данной территории [7], формирования здесь экологической сети [15, 17], выделения экологических границ города [13] и др.).

В территориальном планировании предусмотрено проведение специальной планировки прилегающей к городу территории с учетом эко-

логических требований. Согласно строительным нормам [2, 11], вокруг городов выделяются пригородные и зеленые зоны, для которых, в частности, устанавливаются показатели минимально необходимой площади лесов и лесопарков.

Таким образом, к настоящему времени наработаны соответствующие подходы и созданы определенные управленические механизмы обеспечения благоприятного экологического состояния пригородной территории. Вместе с тем отдельные вопросы, касающиеся охраны и пространственной организации ее природного комплекса, исходя из интересов города, изучены недостаточно. В частности, не сформировано целостного представления относительно оптимальной модели подобного рода организации.

Выполнено исследование, посвященное разработке указанной модели. Для этого понадобилось, во-первых, оценить применяемые подходы к охране и пространственной организации природной составляющей пригородной территории, во-вторых, оценить существующие принципиальные модели пространственной организации природных комплексов и предложить оптимальную модель такой организации применительно к пригородной территории.

Подход к охране и пространственной организации природной составляющей пригородной территории, исходя из концепции зеленой зоны. Важнейшим условием обеспечения благоприятного экологического состояния пригородной территории, а также эффективного выполнения данной территорией функции оздоровления городской среды выступает сохранение в ее пределах достаточной площади природных комплексов, а также их оптимальное разме-

щение. Во многих странах мира, в том числе в Беларуси, действуют специальные управленические механизмы соблюдения данного условия, которые предписывают выделение вокруг города зеленой зоны с отнесением расположенных в ее границах лесов к первой группе лесопользования.

Придание пригородным лесам статуса лесов первой группы направлено на их защиту от вырубки. Экологическая польза данной меры очевидна, поскольку именно леса являются основными средообразующими компонентами. Они наиболее эффективно продуцируют кислород, регулируют водный режим и качество вод, а также обеспечивают сохранение экологического равновесия в целом.

В то же самое время приведенная мера, очевидно, не является исчерпывающей для единственной охраны природных комплексов на прилегающей к городу территории. Ее ограниченность вызвана несколькими причинами.

Во-первых, выделение зеленой зоны создает предпосылки охраны только тех природных комплексов, которые заняты лесами. Однако леса, хоть и являются главными, но отнюдь не единственными средообразующими природными компонентами. К таковым относятся также болота, луга, кустарники, которые выступают регуляторами водного режима, местами обитания диких животных, предотвращают почвенную эрозию и т. п. Они также могут нуждаться в охране.

Во-вторых, абсолютное сохранение лесов зеленой зоны вряд ли вообще возможно, поскольку город развивается, растет его площадь, расширяется транспортная сеть с соответствующей придорожной инфраструктурой для чего иногда требуется отвод и лесных земель. Например, получившая широкий общественный резонанс проблема защиты Химкинского леса в Подмосковье из-за угрозы его вырубки для прокладки скоростной автомагистрали возникла в связи с объективной потребностью развития транспортной сети Москвы.

В-третьих, в ряде случаев бывает недостаточно ограничиться только сохранением имеющихся природных комплексов, возникает потребность в их восстановлении или формировании. Например, для предотвращения поступления продуктов почвенной эрозии в рекреационный водоем может понадобиться облесение или заливание направленных в его сторону склонов, занятых пашней; для снижения загрязняющего влияния источника выбросов загрязняющих веществ – проведение лесопосадок в его санитарно-защитной зоне; для поддержания экологического равновесия территорий интенсивного сельскохозяйственного освоения – создание полезащитных лесополос и т. п.

В отношении пространственной организации лесов, статусом зеленой зоны предусмотрено ее деление по целевому назначению на две

части: лесопарковую и лесохозяйственную.

Лесопарковая часть выделяется из лесов с эстетически ценными ландшафтами; обычно она образует внутренний пояс зеленой зоны. Леса менее привлекательные в эстетическом отношении относятся к внешней лесохозяйственной части зеленой зоны.

Указанное деление зеленой зоны имеет положительное экологическое значение. Оно способствует сохранению эстетически значимых лесов, которые подвергаются интенсивным рекреационным нагрузкам, поскольку предполагает их преобразование в лесопарки. Лесопарки же благодаря соответствующему обустройству (формированию дорожно-тропиночной сети, установке соответствующего оборудования и др.) обладают более высокой устойчивостью к воздействиям со стороны отдыхающих.

Таким образом, выделение вокруг города зеленой зоны создает определенные предпосылки для охраны природных комплексов на прилегающей к нему территории. В некоторых случаях, преимущественно по отношению к небольшим городам, данная мера может оказаться достаточной, поскольку зависимость их функционирования от пригородной территории сравнительно невысока и сохранение в ее пределах лесов обеспечит экологические потребности этих городов.

Иное положение складывается применительно к крупным городам. Они в большей степени зависят от экологического состояния пригородной территории. Кроме этого, антропогенные нагрузки на расположенные в ее пределах природные комплексы значительно выше и со временем, по мере роста города, усиливаются. В таких условиях возникает необходимость совершенствования существующего управлеченческого механизма их охраны и пространственной организации, который базируется на модели зеленой зоны.

Обоснование оптимальной модели пространственной организации природной составляющей и ее специфика для пригородной территории. В основу отмеченной модели следует положить принцип учета экологической неоднородности территории. Данный принцип частично реализуется при выделении зеленой зоны, когда участки, занятые лесами, оцениваются как более значимые для формирования окружающей среды благодаря чему они получают статус охраняемых. Однако сферу его применения нужно расширить, поскольку сами леса, а также иные природные угодья, являются экологически неравноценными в зависимости от присущих им свойств и местоположения.

Выделение неравноценных в экологическом отношении природных комплексов создаст предпосылки обеспечения безусловной охраны или установления наиболее щадящих режимов

природопользования в тех из них, экологическая роль которых особенно велика, путем придания им соответствующего статуса. В свою очередь, менее ценные природные комплексы могут получить более свободные режимы использования, включая возможность их преобразования, например для рекреационных нужд или техногенной трансформации. Также должны быть выявлены участки, где необходимо восстановление (формирование) природных комплексов на месте нарушенных или хозяйственном использовании земель.

Деление территории на различные по экологической значимости части позволит улучшить систему ее экологического управления. Пока такого деления не проведено практически любые природные объекты в ее пределах могут подвергнуться преобразованиям, поскольку все они принимаются равнозначными. Если же они будут ранжированы по экологической значимости, то более ценные объекты изначально приобретут дополнительную степень защиты от вовлечения их в хозяйственное использование.

Вопросам создания эффективных базовых моделей оптимальной пространственной организации природных комплексов территории уделяется внимание в экологических исследованиях. Предлагаются различные модели подобного рода. К основным из них можно отнести модели природного каркаса, экологического каркаса и экологической сети.

Природный каркас – это ранжированная по

степени экологического значения система переходящих друг в друга участков природы, неразрывная взаимосвязь которых создает предпосылки для формирования экологического равновесия, способного противостоять антропогенным воздействиям [8]. Он создается в виде ячеистой сетки, распространяющейся на всю рассматриваемую территорию. В его пределах выделяются площади с различным режимом использования и степенью природной сохранности.

Экологический каркас трактуется как определенный набор и пространственное сочетание природных и культурных ландшафтов, обеспечивающих экологическую стабильность территории [6]. Тем самым его содержание является сходным с понятием природного каркаса.

Разница между указанными понятиями заключается лишь с тем, что в природный каркас включаются только природные ландшафты, а в экологический – и природные, и культурные (табл. 1). Однако эта разница несущественна, поскольку принципиальное значение имеет не генезис (естественный или искусственный) или степень антропогенного преобразования ландшафта, а выполняемые им экологические функции. Например, искусственно созданные лесопосадки по своей средоформирующей роли могут не отличаться от естественного леса, в силу чего их можно отнести к природным территориям и рассматривать как составную часть природного каркаса.

Таблица 1. Основные характеристики базовых моделей пространственной организации природных комплексов территории

№ п/п	Базовая модель	Объекты	Функции	Структура
1	Природный каркас	Природные территории	Сохранение экологического равновесия	Ячеистая сетка
2	Экологический каркас	Природные и культурные ландшафты	Сохранение экологической стабильности	Узлы, транспортные коридоры, буферные зоны, территории экологической реставрации
3	Экологическая сеть	Природные территории, имеющие охраняемый статус	Сохранение естественных экосистем, биологического и ландшафтного разнообразия	Ядра, экологические коридоры, охраняные зоны
4	Зеленая зона	Пригородные леса	Оздоровление окружающей среды, рекреация	Лесопарковая и лесохозяйственная части

В организации элементов природного каркаса предусматривается их ранжирование по экологической значимости и различные режимы использования. В экологическом каркасе также предполагается выделение ключевых звеньев. Его модель представляет собой строго организованную схему с выделением узлов, транспортных коридоров, буферных зон и территорий экологической реставрации [4]. Узлы экологического каркаса и выступают в качестве его отмеченных ключевых звеньев. По сути, понятия природного и экологического каркаса можно рассматривать

как синонимы.

Экологическая сеть определяется как система функционально взаимосвязанных особо охраняемых природных территорий и природных территорий, подлежащих специальной охране, предназначенных для сохранения естественных экологических систем, биологического и ландшафтного разнообразия, а также обеспечения непрерывности среды обитания объектов животного мира [5]. В данном случае имеют место заметные отличия от понятий природного и экологического каркаса.

Подобного рода отличия состоят, во-первых, в наборе объектов, относимых, соответственно, к сети и каркасам. Если в первом случае это лишь территории, обладающие охранным статусом, то во втором – подобный статус не имеет значения, в каркас могут входить как охраняемые, так и неохраняемые природные территории и объекты. Во-вторых, в трактовке понятия экологической сети прослеживается биоцентрический акцент, упор на сохранение биологического и ландшафтного разнообразия, в отличие от содержащейся в понятиях природного и экологического каркасов ориентации на сохранение экологического равновесия или экологической стабильности.

Следовательно, понятие экологической сети является более узким по сравнению с природным и экологическим каркасами, как по решаемым задачам, так и по вовлекаемым для этого объектам. Поэтому при организации природных комплексов территории недостаточно опираться только на ее модель. Решаемая с помощью данной модели задача сохранения биологического и ландшафтного разнообразия должна быть дополнена задачами обеспечения благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала.

Для обеспечения полноты решения всех приведенных задач нужно, очевидно, использовать модель природного или экологического каркаса, которые близки по содержанию. Вместе с тем, чтобы избежать терминологической путаницы, целесообразно ориентироваться только на одну из них. В качестве таковой имеет смысл выбрать модель экологического каркаса как более проработанную в структурном отношении.

Что касается модели природного каркаса, то от нее также не следует отказываться. Целесообразно закрепить за природным каркасом функции обеспечения благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала, которые не предусмотрены в экологической сети, и назвать его *средоформирующий природный каркас*. В этом случае экологический каркас территории выступит как интегральная структура, которая будет состоять из двух частей: природного каркаса (в приведенной трактовке) и экологической сети.

По отношению к пригородной территории, к двум указанным частям следует добавить также зеленую зону (рис. 1). Она создает благоприятные условия для формирования природного каркаса и экологической сети, обеспечивая защиту лесов.



Рис. 1. Организационная структура экологического каркаса пригородной территории

Элементы природного каркаса и экологической сети, очевидно, могут перекрываться. Например, один и тот же участок пойменного луга может иметь важное значение для сохранения биоразнообразия, из-за наличия в его пределах редких видов растений, и одновременно защищать водные ресурсы реки от загрязнения, выступая барьером на пути смываемых с пахотных угодий продуктов почвенной эрозии.

В то же самое время отмеченного перекрытия может и не быть. Так, значимый для сни-

жения загрязняющего влияния лес в санитарно-защитной зоне предприятия может не отличаться ценностью для сохранения биологических видов. Соответственно он выступит элементом природного каркаса, но не экологической сети.

Таким образом, экологически оптимальная организация природных комплексов территории предполагает выделение в ее пределах, во-первых, природного каркаса, обеспечивающего формирование благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потен-

циала, во-вторых, экологической сети, позволяющей сохранить биологическое и ландшафтное разнообразие и, в-третьих, объединение элементов природного каркаса и экологической сети в экологический каркас.

Особенности ранжирования природных комплексов пригородной территории по экологической значимости для города. Различные составные части экологического каркаса пригородной территории предъявляет свои требования к ранжированию природных комплексов по экологической значимости, в зависимости от их предназначения.

Основной задачей зеленой зоны является защита прилегающих к городу лесов. Их ранжирования по экологической значимости не предусмотрено. Все они относятся к первой группе лесопользования и рассматриваются как равноценные.

Ключевыми элементами экологической сети являются ее ядра, к которым относятся большие по площади участки, занятые ценными для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия природными комплексами. В зависимости от местоположения этих ядер будут проходить и экологические коридоры, соединяющие их, а также формироваться охранные зоны, обеспечивающие сохранение экологических ядер и коридоров.

Большие участки малоизмененной хозяйственной деятельностью природы размещаются, как правило, на удалении от крупных городов. Прилегающие к ним территории обычно отличаются более высоким уровнем освоения. Подобного рода зависимость хозяйственного использования территории от ее удаленности от города была установлена еще в XIX в. Тюнненом [18].

В 1970-е гг. Б. Б. Родоманом [9] на основе указанной зависимости сформулировано положение о поляризации биосфера как базовом принципе, которым следует руководствоваться при решении задачи охраны природы в территориальном планировании. Данный принцип учитывался, в частности, в практике территориального планирования Беларуси [2]. Развитие расселения и природопользования на удаленных от города территориях с сохранившимися природными комплексами ограничивалось.

Сходным образом происходит формирование современной национальной экологической сети Беларуси. Ее ядра находятся на периферии по отношению к крупным городам [3]. По пригородным территориям могут проходить только экологические коридоры. Их выделение, очевидно, создает дополнительную защиту природным комплексам, входящим в состав этих коридоров.

Сохранение указанных природных комплексов будет иметь положительное экологическое значение для города, поскольку они, в силу своего местоположения, способствуют оздоровлению городской среды. Вместе с тем данные природные комплексы не обязательно будут ха-

рактеризоваться наиболее высокой эффективностью выполнения отмеченной функции, поскольку основные критерии их формирования связаны не с экологическими интересами города, а с сохранением биологического и ландшафтного разнообразия.

Соответственно, исходя из экологических интересов города, нужен иной, нежели используемый в экологической сети, подход к ранжированию природных комплексов пригородной территории по экологической значимости. В его основу следует положить оценку их оздоровительного влияния на окружающую среду города и обеспечения благоприятного экологического состояния природных ресурсов, используемых для его нужд.

В оздоровлении городской среды ведущее значение принадлежит пригородным лесам. Наиболее высокий эффект обеспечивают те леса, которые имеют непрерывную пространственную связь с озелененными территориями в пределах самого города, образуя систему зеленых клиньев [10]. Очевидно, их и следует отнести к экологически наиболее ценным.

Значимость остальных лесов и иных природных комплексов может оцениваться по интенсивности их непосредственного использования для нужд города, а также выполняемой ими роли в создании благоприятных экологических условий для такого использования. Так, более высокую оценку должны получить, например, леса и водоемы, на базе которых созданы основные зоны отдыха городских жителей.

В свою очередь, в водосборных бассейнах отмеченных водоемов будут выделяться особо ценные природные комплексы, которые играют ключевую роль в формировании их режима и качества воды. К ним могут относиться леса и болота в верховьях рек, луговые угодья в их поймах, залесенные ложбины стока и др.

К наиболее ценным в экологическом отношении следует отнести также природные комплексы, которые в естественном состоянии способствуют сохранению экологического равновесия, но в случае их вовлечения в хозяйственное использование будут подвержены развитию неблагоприятных процессов (образование оврагов, карсту, изменению водного режима и др.). То же самое относится к природным комплексам, выполняющим защитную функцию по предотвращению распространения загрязняющих веществ.

Приведенные примеры выделения наиболее ценных элементов природного каркаса пригородной территории свидетельствуют о том, что на их экологическую значимость оказывают влияние такие факторы, как удаленность данных элементов от города, а также занимаемое ими положение в системе бассейновой, ландшафтной и хозяйственной организации указанной территории. Поэтому их ранжирование по указанному критерию должно опираться на ее природно-

хозяйственную дифференциацию, которая должна включать отображение, во-первых, природных ландшафтов с оценкой их устойчивости к внешним воздействиям, во-вторых, водосборных бассейнов основных водоемов, используемых для водоснабжения города и отдыха городского населения, в-третьих, землепользования с показом основных источников загрязнения.

Выводы. Применяемый в территориальном планировании подход к охране и организации природной составляющей пригородной территории, опирающийся на выделение вокруг города зеленой зоны, создает предпосылки решения данной задачи, но не всегда является достаточно эффективным, поскольку он односторонне ориентирован только на защиту лесов, без учета иных природных компонентов, не предусматривает их дифференциацию по экологической значимости и, следовательно, гарантированной охраны наиболее ценных из них.

В условиях роста нагрузок на пригородную территорию повышается потребность перехода на более совершенную модель пространствен-

ной организации расположенных в ее пределах природных комплексов, в качестве которой предложена модель экологического каркаса. Экологический каркас понимается как интегральное образование, объединяющее в своем составе такие слагающие его части, как зеленая зона, предназначенная для защиты лесов; средоформирующий природный каркас, выполняющий функции обеспечения благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала; экологическая сеть с функцией сохранения биологического и ландшафтного разнообразия.

Ранжирование природных комплексов пригородной территории по экологической значимости для города не соответствует таковому для биологического и ландшафтного разнообразия. Оно должно исходить из оценки их оздоровительного влияния на городскую среду и обеспечения благоприятного состояния природных ресурсов, используемых для нужд города и опираться на учет ландшафтной, бассейновой и хозяйственной организации территории.

Литература

1. Беларусь: среда для человека. Национальный отчет о человеческом развитии. Минск, 1996.
2. ГОСТ 17.5.3.01-78. Охрана природы. Земли. Состав и размер зеленых зон городов.
3. Государственная схема комплексной территориальной организации Республики Беларусь. Утв. Указ Президента Республики Беларусь 12.01.2007, № 19.
4. **Дьяконов К. Н., Дончева А. В.** Экологическое проектирование и экспертиза. М., 2002.
5. Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», 26 ноября 1992 г. № 1982-XII, в ред. Закон Республики Беларусь от 31 декабря 2010 г. № 228-З (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2011 г., № 5, 2/1780).
6. **Колбовский Е. Ю., Морозова В. В.** Ландшафтное планирование и формирование сетей охраняемых природных территорий. М., Ярославль, 2001.
7. **Кочуров Б. И.** Геэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск, 1999.
8. **Реймерс Н. Ф.** Природопользование: Словарь-справочник. М., 1990.
9. **Родоман Б. Б.** Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов // Ресурсы, среда, расселение. М., 1974. С. 150–162.
10. **Родоман Б. Б.** Экологические принципы совершенствования территориальной структуры Москвы и Подмосковья // Вопросы географии, № 131. М., 1988. С. 72–79.
11. СНБ 3.01.04-02. Градостроительство, планировка и застройка населенных пунктов.
12. **Струк М. И.** Дефицит крупных водоемов как лимитирующий фактор рекреационного природопользования в пригороде Минска // Природные ресурсы. 1997. № 1. С. 103–107.
13. **Струк М. И., Живнач С. Г.** Географические подходы к выделению внешних экологических границ города / Природопользование. Минск, 2011. Вып. 19. С. 96–102.
14. **Струк М. И.** Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси. Минск, 2007.
15. **Струк М. И.** Учет интересов города при организации экологической сети пригородного района // Природопользование. Минск, 2008. Вып. 14. С. 21–26.
16. **Струк М. И.** Экологическая оптимизация территориальной структуры пригородного природопользования // Природопользование. Минск, 1996. Вып. 1. С. 131–134.
17. ТERRITORIALNE PLANIROVANIE V RESPUBLIKE BELARUS / V. I. BYЛЬ [I DR.]; POD RED. G. V. DUDKO. Minsk, 2007.
18. **Уэруэн Д.** Пригородная зона // География городов. М., 1965. С. 398–411.

М. И. Струк, С. Г. Живнач

**ПОДХОДЫ К ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ПРИРОДНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИГОРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Выполнена оценка применяемого в территориальном планировании подхода к организации природной составляющей пригородной территории, исходя из концепции зеленой зоны. Установлена его недостаточная эффективность из-за односторонней ориентации только на защиту лесов без учета пространственных различий в их экологической значимости.

Опираясь на анализ существующих концепций пространственной организации природы, предложен подход к такой ее организации для пригородной территории, в основу которого положена модель экологического каркаса. Последний понимается как интегральное образование, объединяющее в своем составе зеленую зону, предназначенную для защиты лесов; средоформирующий природный каркас, выполняющий функции обеспечения благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала; экологическую сеть с функцией сохранения биологического и ландшафтного разнообразия.

M. I. Struk, S. G. Zhivnach

**APPROACHES TO PLANNING ORGANIZE
NATURAL COMPONENT OF SUBURBAN TERRITORY**

The assessment of applied in territory planning of approach to the organization of natural component of suburban territory, considering the concept of green one has been done. Its poor efficiency due to one-side trend to only woods protection without regarding spatial differences in their ecological value has been stated. Considering the analysis of present concepts of spatial nature arrangement an approach was offered to that its arrangement for suburban territory in the basis of which the model of ecological skeleton was set up. The latter is understood as an integral formation, uniting in its composition a green zone, assigned to protect woods; medium-forming natural skeleton, playing the function of providing favorable state of the environment and natural-resource potential; ecological network with the function of biological and landscape diversity preservation.

УДК 911.5 (476)

Ю. М. Обуховский, Т. А. Жидкова

КАРТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ

На примере Гродненского района Республики Беларусь определены количественные методы интерпретации ландшафтной структуры, выраженные в изучении закономерностей пространственной дифференциации природных территориальных комплексов, их компонентов и свойств, а также анализе индикационных связей между ними.

При исследовании ландшафтов, наряду с традиционными методами дешифрирования материалов дистанционных съемок, определенный интерес вызывают количественные методы их интерпретации, выраженные в изучении закономерностей пространственной дифференциации природных территориальных комплексов (ПТК), их компонентов и свойств, а также анализе связей между ними. Основным методом изучения многообразных связей и закономерностей является математический анализ, важной особенностью использования которого является сочетание его с картографическими методами. Применение указанных методов выражается в привязке всех полученных при статистической обработке данных к конкретным ландшафтам, что позволяет провести объективную оценку степени сложности ландшафтного устройства территории [3, 5].

Основой для проведения вышеперечисленных видов изысканий служит ландшафтная карта масштаба 1:100 000, составленная в процессе исследований, анализ содержания которой при использовании методов статистических распределений применялся для углубленного изучения закономерностей пространственного распределения ландшафтов, при выявлении различий близких ПТК, а также для группировки и установления рабочих градаций изучаемых объектов.

Использование количественных характеристик ландшафтной структуры в индикационных целях заключалось, прежде всего, в выборе приемов количественного анализа, определении значений выбранных количественных характеристик ПТК и установлении индикационной связи между количественными характеристиками и индицируемыми условиями [2, 5].

Количественные характеристики структуры ландшафтов были получены на основе выполнения картометрического анализа, основными элементами которого явились: вычисление площадей контуров ландшафтов, определение длин границ и ранжировка ПТК по степени различия их свойств [1]. Мерами разнообразия ПТК служили,

с одной стороны, показатели пространственной (территориальной) дифференциации ПТК, которая проявляется в рисунке контуров, с другой стороны – показатели классификационной дифференциации, отражающие разнообразие компонентного состава ландшафтов.

Параметрами, используемыми для вычислений, стали показатели геометрии ПТК – размер, степень изрезанности ландшафтных контуров и количественные характеристики дифференциации ПТК – коэффициенты расчленения, сложности, контрастности и неоднородности. Коэффициент расчленения (КР) и коэффициент сложности (КС) характеризуют разнообразие ландшафтного рисунка; коэффициент контрастности (КК) ландшафтов определяет качественное разнообразие ПТК. Интегральный показатель – коэффициент неоднородности (КН) является производным от показателей расчлененности и контрастности [4].

В группе показателей, характеризующих пространственную дифференциацию ПТК, основным является КС, который определяется с учетом размеров контуров ландшафтов и степени изрезанности границ ПТК [3, 4].

Результаты измерения размеров контуров ПТК фиксировались в специальной ведомости, после чего было проведено ранжирование ландшафтов, т. е. разделение контуров на условные классы по размерам: до 500 га; 500–1000; 1000–5000; 5000–10 000; более 10 000 га. Число контуров, приходящееся на каждый класс ландшафтов, выражено в процентах от общей суммы контуров ПТК района и занесено в табл. 1.

Для выделенных в пределах района исследований грядово-холмистых ПТК ($g^{III}pz$, $g^{II}sz$) краевых моренных образований характерны участки площадью от 1200 до 12 780 га. Минимальные значения площадей характерны для зоны поозерского ледника ($g^{III}pz$), им же свойственны минимальные значения дифференциированности. Такое распределение контуров связано с незначительным удельным весом данного ПТК (всего 0,96 %) в составе района исследований.

Отличительной особенностью холмисто-волнистых камово-моренных ландшафтов (*gIIIlpz*, *gIIlsz*) является наличие мелкоконтурных участков площадью 167,59–905,61 га. В зоне поозерского оледенения (*gIIIlpz*) преобладают участки площа-

дью 1000–5000 га, в зоне сожского оледенения (*gIIlsz*) – более 10 000 га, занимающие 86,23 и 73,09 % соответственно. Такое расхождение объясняется различной долей участия указанных ПТК в ландшафтной структуре района.

Таблица 1. Распределение размеров контуров ПТК в пределах района исследований

Ландшафты Гродненского района	Классы по размерам контуров, %					<i>S*</i> , %	КС		
	Площадь, га								
	До 500	500– 1000	1000– 5000	5000– 10 000	Более 10 000				
I. Грядово-холмистые ПТК краевых моренных образований поозерского ледника (<i>gIIIlpz</i>)	–	–	100	–	–	0,97	2,15		
II. Грядово-холмистые ПТК краевых моренных образований сожского ледника (<i>gIIlsz</i>)	–	–	34,72	22,12	43,14	10,80	0,20		
III. Холмисто-волнистые камово-моренные ландшафты поозерского ледника (<i>gIIIlpz</i>)	3,89	9,88	86,23	–	–	3,34	0,65		
IV. Холмисто-волнистые камово-моренные ландшафты сожского ледника (<i>gIIlsz</i>)	0,35	–	13,49	13,07	73,09	22,67	0,16		
V. Ландшафт пологоволнистой водно-ледниковой равнины поозерского возраста (<i>fIIIlpz</i>)	–	–	6,23	13,96	79,81	38,03	0,08		
VI. Ландшафт плосковолнистой озерно-ледниковой равнины поозерского возраста (<i>lglIIlpz</i>)	–	1,53	28,35	75,31	–	13,65	0,16		
VII. Ландшафт террасированных речных долин (<i>a₁₋₄IV</i>)	–	–	19,73	–	80,27	8,01	0,87		

* *S* – площадь ПТК от общей площади района.

Ландшафту пологоволнистой водно-ледниковой равнины поозерского возраста (*fIIIlpz*) свойственно выделение шести контуров площадью от 1427,52 га. Однако одному участку, выделенному в северной части района, соответствует площадь в 82 351,32 га. Он является доминирующим, составляет 79,81 % площади ландшафта.

Ландшафт плосковолнистой озерно-ледниковой равнины поозерского возраста (*lglIIlpz*) отличается преобладанием контуров площадью до 10 000 га. Размер контуров уроцищ – 200–500 и более 500 га. Наибольшие площади занимают уроцища распаханных вершин и повышенных склонов.

В ландшафте террасированных речных долин (*a₁₋₄IV*) в целом доминируют контуры площадью более 10 000 га. Однако для них характерно совсем иное площадное распределение контуров уроцищ. Доминирующие позиции занимают контуры площадью 50–100 и 100–500 га, примерно в равных долях рассредоточенные

между культурными уроцищами и уроцищами с естественной растительностью.

Таким образом, размеры контуров ПТК имеют важное значение, прежде всего с точки зрения оценки однородности ландшафтной структуры территории. Для района исследований характерен высокий процент однородности (> 50), который обусловлен системой ландшафтных контуров, доминирующих в пределах выделенных ПТК и района в целом.

Для определения сложности ландшафтной структуры района необходимо установление еще одного показателя – КР, характеризующего сложность форм ПТК, выражаящихся в характере изрезанности контуров, а также извилистости их границ определяющегося по формуле:

$$KR = \frac{l}{3,54\sqrt{S}},$$

где *l* – длина границы контура; *S* – площадь контура.

Коэффициент расчленения представляет собой отношение конкретной длины границы контура к длине границы круга, площадь которого равна данному выделу (ПТК). Ранее длина границ каждого контура определялась с помощью курвиметра или измерителя с раствором 2 мм. В настоящей работе данные показатели рассчитывались в пакете ArcGis 10.0, что позволило с максимальной точностью рассчитать данные параметры. В целом КР исследуемой территории определялся как отношение суммы КР всех контуров к общей площади участка:

$$KR = \frac{KR_1 \cdot S_1 + KR_2 \cdot S_2 + \dots + KR_n \cdot S_n}{S_{\text{общ}}}.$$

На основе собранных данных рассчитывался КС ландшафтной структуры, указанный в табл. 1, представляющий собой частное КР и общей площади ПТК:

$$KC = \frac{KR}{S},$$

где КР – коэффициент расчленения для ландшафтов района; S – общая площадь ландшафта, в процентах от общей площади района.

По результатам проведенных вычислений можно сделать вывод о том, что сложность ландшафтной структуры района находится в четкой корреляционной зависимости от удельной плотности определенного вида ландшафта в составе ПТК района. Для всех ландшафтов характерен достаточно высокий процент однородности, исключение составляют только грядово-холмистые ПТК краевых моренных образований сожского ледника, в которых размеры контуров в ранжировочном ряду распределены достаточно равномерно, чем и обусловлено довольно малое зна-

чение коэффициента сложности ПТК. В целом для района характерна следующая зависимость: чем выше доля преобладающих участков ландшафта, тем менее дифференцирована его структура и, соответственно, ниже определяемый для него коэффициент сложности.

Основным количественным показателем, указывающим на разнообразие компонентного состава ландшафтов, принимающего участие в строении исследуемой территории, а также на степень их разнообразия, является КК. Для его определения необходимо составление ранжировочных рядов ландшафтов с разными свойствами по одному или нескольким показателям, которые в наибольшей степени отражают различия ПТК, формирующих ландшафтную структуру изучаемого района [3].

В основу разделения свойств ландшафтов по степени контрастности были положены индикационные характеристики ПТК. Различия ландшафтов по гипсометрическому положению и литологическому составу, прежде всего, проявлялись через степень увлажнения территории. Увлажненность ландшафтных единиц, в свою очередь, позволяла определять классификационную принадлежность почв, литологическое строение и положение в рельефе каждого выделенного в пределах района ландшафта.

Для оценки контрастности ПТК района была разработана шкала контрастности, показанная в табл. 2, позволяющая определить КК наиболее распространенных в регионе ландшафтов. Разница между соседними группами по уровню контрастности была принята за единицу. На основании результатов сопоставления доминирующего в районе ландшафта устанавливался бал сравнения для каждой пары.

Таблица 2. Шкала контрастности ландшафтов Гродненского района по уровню увлажнения (v) и характеру распределения литологических разностей (m)

Ландшафты Гродненского района	v	m	Балл контрастности
Грядово-холмистые ПТК краевых моренных образований поозерского ледника	4	2	6
Грядово-холмистые ПТК краевых моренных образований сожского ледника	3	2	5
Холмисто-волнистые камово-моренные ландшафты поозерского ледника	2	2	4
Холмисто-волнистые камово-моренные ландшафты сожского ледника	1	2,5	3,5
Ландшафт пологоволнистой водно-ледниковой равнины поозерского возраста	0	0	0
Ландшафт плосковолнистой озерно-ледниковой равнины поозерского возраста	1	0	1
Ландшафт террасированных речных долин	2	0	2

Общая контрастность ПТК района определялась по формуле Ю. К. Юодиса (1967), принятой при расчете КК почвенных комбинаций:

$$KK = \frac{ax + by + c...}{20},$$

где a , b , c – площади различных ландшафтов в процентах от общей площади района; x , y – степень контрастности соответствующих уроцищ по отношению к преобладающему по площади уроцищу (по шкале контрастности); 20 – условная величина, вводимая для уменьшения итогового показателя.

Однако для выявления степени сходства и различий свойств ландшафтов исследуемого района условная величина, указанная в формуле для расчета КК принималась равной десяти. Данное решение возникло в целях более наглядного представления рассчитываемого коэффициента. В результате была проведена систематизация изученных взаимосвязей количественных показателей ландшафтной структуры территории и ее геологических условий.

Максимальных значений КК ландшафтной структуры района достигал в грядово-холмистых и холмисто-волнистых камово-моренных ландшафтах сожского возраста. Такое распределение коэффициентов было связано, прежде всего, с высокими баллами контрастности указанных ПТК по составленной шкале с доминирующим в районе ландшафтом пологоволнистой водно-ледниковой равнины поозерского возраста, что в полной мере отображало связь количественных параметров ПТК с геологическими условиями региона. Минимальные значения коэффициента соответственно характерны для ландшафтов поозерского оледенения.

Комплексным показателем, наиболее полно отражающим различие морфологического строения ландшафтов, является КН [1, 4]. Наиболее приемлемой для расчета этого показателя

в среднемасштабных ландшафтных исследованиях является формула [4]

$$KN = KP \cdot KK,$$

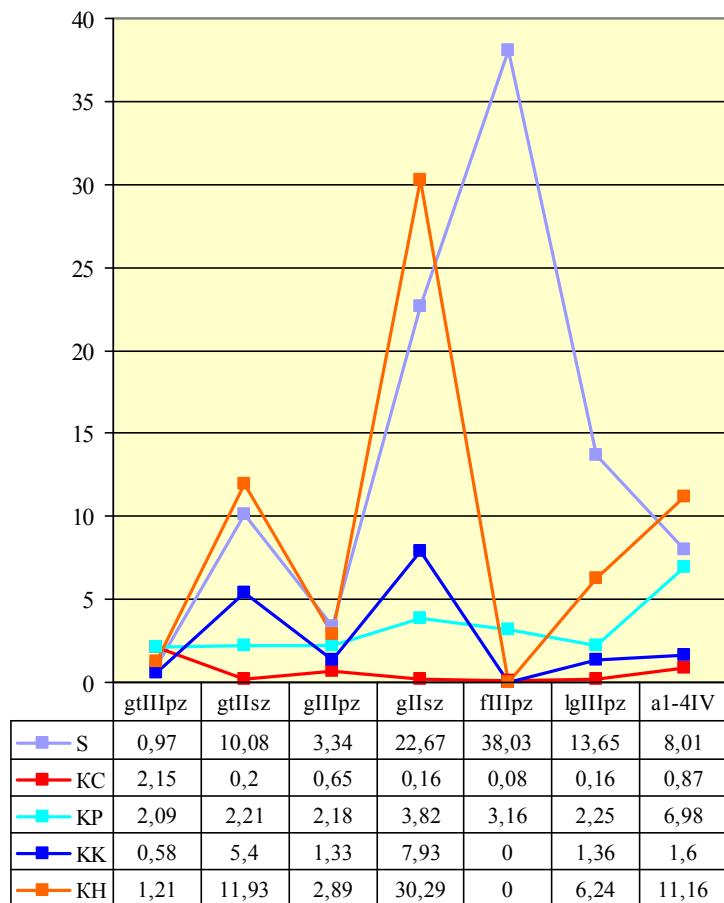
где KP – коэффициент расчленения, характеризующий особенности распространения уроцищ; KK – коэффициент контрастности – показатель степени различия свойств уроцищ.

На основании расчетов данного показателя были сделаны выводы, позволяющие говорить о том, что характер изрезанности ландшафтных границ и контрастность ПТК определяют степень их неоднородности. Так, достаточно высокий показатель неоднородности в ландшафтах грядово-холмистых краевых моренных образований и холмисто-волнистых камово-моренных ПТК сожского ледника обусловлен дифференцированностью геологических условий, являющихся определяющим показателем при вычислении КК. В то же время при малой площади ландшафта террасированных речных долин высокий показатель неоднородности обусловлен структурой рисунка данного ландшафта, характеризующегося значительной изрезанностью границ.

Привязка всех полученных при статистической обработке закономерностей к конкретным ландшафтам позволила провести объективную оценку степени сложности, расчлененности, контрастности и неоднородности ландшафтного устройства территории. Полученные в результате картометрического анализа выделенных в пределах района исследований ландшафтов коэффициенты были систематизированы, что наглядно отображает табл. 3. На основании приведенных данных составлена общая характеристика природных территориальных комплексов Гродненского района, представленная на рисунке.

Таблица 3. Шкала ранжирования природно-территориальных комплексов Гродненского района по степени расчлененности, контрастности и неоднородности

Коэффициент		
KP	KK	KN
0–2 (слаборасчлененные)	0–2 (неконтрастные)	0–5 (однородные)
2–4 (среднерасчлененные)	2–4 (слабоконтрастные)	5–10 (слабонеоднородные)
4–6 (сильнорасчлененные)	4–6 (среднеконтрастные)	10–20 (средненеоднородные)
Более 6 (очень сильнорасчлененные)	6–8 (сильноконтрастные)	20–30 (сильнонеоднородные)
—»—	—»—	> 30 (очень сильнонеоднородные)



Коэффициенты ландшафтной структуры Гродненского района Беларусь

Использование предложенных количественных характеристик ПТК при ландшафтно-индикационных исследованиях позволяет сделать следующие практические выводы.

1. Выделенные в пределах Гродненского района ландшафты находятся в строго определенном пространственном сопряжении. Каждый прием количественного анализа служит для определения индикационных характеристик ПТК, лежащих на контрасте нескольких ландшафтных групп – зон распространения сожского и позерского ледников.

2. В ландшафтной структуре района и параметрах ПТК проявляется интегральный результат взаимодействия географических факторов дифференциации ландшафтов.

Использование количественных показателей при изучении ландшафтной структуры рай-

она исследований, полученных на основе применения математических методов, позволяют помимо применения частных и комплексных индикационных характеристик объектов для отображения различных ПТК отражать индикационные ландшафтно-структурные взаимосвязи, включающие связь трудно наблюдаемых объектов и ландшафтного рисунка территории.

3. Предложенные критерии количественной оценки степени дифференциированности ландшафтной структуры облегчают сравнительный анализ и классификацию ландшафтных единиц по степени сложности, контрастности и неоднородности их природного устройства и могут использоваться для рекреационной оценки территории, при проведении районных планировок и гидромелиоративных мероприятий.

Литература

1. Аношко В. С., Брилевский М. Н. Методика определения норм экологической допустимости уп-ростимости мелиорированных ландшафтов. Минск, 1990.
2. Викторов А. С. Рисунок ландшафта. М., 1986.
3. Кауричев И. С., Романова Т. А., Сорокина И. П. Структура почвенного покрова и типизация зе-мель. М., 1992.

4. Михно В. Б. Методические указания для выполнения практических работ по мелиоративному ландшафтovedению. Воронеж, 2007.
5. Николаев В. А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М., 1978.

Белорусский государственный университет

Поступила в редакцию 19.10.2011

Ю. М. Обуховский, Т. А. Жидкова

**КАРТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПРИРОДНЫХ
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ**

Среди многообразных направлений изучения ландшафтных карт особое место принадлежит картографо-математическому анализу. Описанные в работе подходы, базируясь на применении математических методов, а также многогранном рассмотрении внутриландшафтных и межландшафтных связей, позволяют помимо использования частных и комплексных индикационных характеристик объектов для отображения различий природно-территориальных комплексов использовать индикационные ландшафтно-структурные взаимосвязи, охватывающие связь трудно наблюдаемых объектов и ландшафтного рисунка территории. Предложенные критерии количественной оценки степени дифференцированности ландшафтной структуры облегчают сравнительный анализ и классификацию ландшафтных единиц по степени сложности, контрастности и неоднородности их природного устройства и могут использоваться для рекреационной оценки территории, при проведении районных планировок и гидромелиоративных мероприятий.

Yu. M. Obukhovskiy, T. A. Zhidkova

**CARTOMETRY ANALYSIS OF SUBURBAN TERRITORIAL
COMPLEXES DIFFERENTIATION FOR LANDSCAPE INDICATION**

Among the diverse areas of study of landscape maps a special place is taken by cartography and mathematical analysis. The described in the work approaches, being a basis of the application of mathematical methods, as well as consideration of multifaceted intra-landscape and inter-landscape links allow to use in addition to private and complex characteristics of indicator items to display differences in environmental systems to use the indicator of landscape and structural relationships, covering the link of hardly observed objects and a landscape drawing of the area. The proposed criteria of qualitative assessment of the degree of differentiating of landscape structure facilitates a comparative analysis and classification of landscape units by complexity degree, contrast, and the heterogeneity of their natural arrangement, and can be used for the recreational assessment of the area, during the district planning and reclamation activities.

УДК 504.3.313:33

С. В. Какарека, О. Ю. Круковская

ПОТЕНЦИАЛ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Проведен анализ потенциала снижения выбросов твердых частиц в атмосферный воздух на территории Беларуси. Описан метод анализа, состав использованной информации. Выявлены отрасли, на которые приходится основной потенциал доступного сокращения выбросов твердых частиц. Выполнена стоимостная оценка реализации мероприятий по снижению выбросов твердых частиц в различных отраслях. Проведено сравнение оценок достижимого сокращения выбросов твердых частиц с оценками по сценарию ключевых мер Центра по интегральному моделированию Программы ЕМЕП (CIAM).

Определение потенциала сокращения выбросов является важным условием эффективности воздухоохраных программ, как международных, так и национальных. В частности, на стадии подготовки новой редакции Гетеборгского протокола к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния ряд институтов и научных центров выполняет детальный анализ всех доступных технологий снижения выбросов, связанных с ними затрат и достижимых уровней сокращения выбросов в европейском масштабе. Основными инструментами такого анализа являются модели интегральной оценки, в частности модель GAINS, разработанная Международным институтом прикладного системного анализа. Значительное внимание уделяется выбросам твердых взвешенных частиц (в особенности тонкодисперсных), что обусловлено существенным негативным воздействием частиц на здоровье населения и, как следствие, расширением международных обязательств по их регулированию.

В связи с разнообразием технологий снижения выбросов твердых частиц (ТЧ) возможна реализация большого количества стратегий (сценариев) снижения выбросов. В практике интегрального моделирования их обычно группируют по таким критериям, как уровень внедрения мер по снижению выбросов и достигаемое сокращение выбросов. При такой группировке полярными будут «базовый сценарий» – без дополнительных мер, и «сценарий максимального технически достижимого снижения выбросов» (МТДСВ) – при котором предполагается реализация всех доступных мер.

Ранее [2] описан сценарий МТДСВ твердых частиц для Беларуси. Показано, что, согласно полученным оценкам, потенциал сокращения выбросов ТЧ к 2020 г. для Беларуси составит 64,2 %, в том числе 78,5 % для тонкодисперсных частиц. Однако данный сценарий может быть реализован лишь в идеале: для его достижения, помимо решения многих технических, нормативно-законодательных и организационных проблем, потребуется увеличение годовых расходов

на снижение выбросов ТЧ до 300 млн евро; в настоящее же время расходы на охрану атмосферного воздуха в Беларуси составляют около 60 млн евро в год. В связи с этим необходима разработка других, более реалистичных промежуточных сценариев снижения выбросов ТЧ. Одним из набора доступных сценариев является сценарий с ограниченным набором мер, позволяющих снизить выбросы ТЧ с наибольшей эффективностью (сценарий «ключевых мер»).

Цель данного исследования – дальнейший анализ потенциала снижения выбросов ТЧ в Беларуси с использованием модели GAINS и других методов, разработка подходов к формированию сценариев и стратегий снижения выбросов ТЧ.

Анализ сценария «ключевых мер» (CIAM 2008). В 2008 г. в рамках пересмотра Гетеборгского протокола в соответствии с решением Рабочей группы по стратегиям и пересмотру, Центр по интегральному моделированию (CIAM) подготовил сценарий «ключевых мер» по снижению выбросов загрязняющих веществ для стран, не входящих в ЕС [9].

Перечень мер по снижению выбросов ТЧ, предлагаемых данным сценарием для стран, не входящих в ЕС, приведен в табл. 1.

Для стационарных источников предусматривается достижение европейских стандартов выбросов. Анализ технологий снижения выбросов ТЧ для процессов сжигания, моделируемых в сценариях модели GAINS, и действующего законодательства ЕС в рассматриваемой области, позволяет думать, что сценарий «ключевых мер» предполагает использование высокозэффективных электрофильтров и тканевых фильтров, как для энергетики, так и для промышленности. Кроме того, для достижения требуемых стандартов выбросов технологических процессов необходима хорошая практика и обеспечение герметичности оборудования для предотвращения неорганизованных выбросов, а также возможно использование оборудования других типов, в зависимости от технологического процесса. Для передвижных источников предусматривается дости-

жение соответствия стандартам серии Евро-4 (IV) 2/3 парка в целевом году. При анализе результатов моделирования сценария «ключевых мер» в части передвижных источников следует учесть, что в настоящий момент доля автотранспортных средств, соответствующих 4-му поколению стандарта Евро, составляет до 7 %, и косвенные меры регулирования экологической структуры автомобильного парка Беларуси обеспечивают прирост не более 3 % в год. Следовательно, при сохранении такой тенденции реализация сценария маловероятна.

Данный сценарий не предусматривает сокращение выбросов в бытовом секторе, сельском хозяйстве, при обращении с отходами, а также от внедорожных передвижных источников, новых электростанций и процессов сжигания в промышленности.

Согласно предложенному сценарию «ключевых мер», ожидаемое сокращение выбросов ТЧ2,5 в Беларуси по сравнению с базовым сценарием составит 5,0 тыс. т, в том числе 3,2 тыс. т от передвижных источников (64 %) и 1,6 тыс. т от промышленных источников (32 %) (табл. 2.)

Таблица 1. Меры контроля выбросов взвешенных частиц в сценарии «ключевых мер» [9]

Отрасль/сектор	Мера
Стационарные источники сжигания на электростанциях и в промышленности	Модернизация действующих стандартов выбросов до уровня новых государств-членов ЕС с соответствующим изменением уровня пылегазоочистки
Технологические источники в промышленности	Модернизация действующих стандартов выбросов и методов до уровня новых государств-членов ЕС с соответствующим изменением уровня пылегазоочистки
Автотранспорт *	Контрольные меры 2-го этапа на мотоциклах и мопедах
	Стандарты Евро 4 для автомобилей и легких грузовых автомобилей
	Стандарты Евро IV для грузовых автомобилей большой грузоподъемности и автобусов

* Степень внедрения – около 2/3 всего парка транспортных средств.

Таблица 2. Снижение выбросов ТЧ2,5 в Беларуси, согласно сценарию «ключевых мер» CIAM, тыс. т [9]

Мера	Снижение выбросов, тыс. т
Модернизация электрофильтров – существующие электростанции (твердое топливо)	0,1
Модернизация электрофильтров – новые электростанции (твердое топливо)	–
Модернизация электрофильтров – сжигание в промышленности (твердое топливо)	–
Повышение эффективности пылегазоочистки на промышленных источниках	1,6
Применение стандарта Евро IV для грузового транспорта и автобусов	2,5
Применение стандарта Евро 4 для легкового транспорта	0,5
Контрольные меры для мотоциклов и мопедов	0,3
Всего	5,0

Среди передвижных источников наибольшее сокращение выбросов ТЧ2,5 предложенными мерами может быть достигнуто для грузового транспорта (2,5 тыс. т, или 78 % общего сокращения выбросов от передвижных источников).

Сценарий CIAM представляет интерес при сопоставлении его с рядом альтернативных сценариев при моделировании стратегии снижения выбросов. В то же время к данному сценарию возникает ряд вопросов методологического и практического характера. В частности, такая мера, как «доведение стандартов выбросов ТЧ в промышленности до уровня «стран-членов ЕС» носит, с учетом многообразия источников выбросов в промышленности, излишне общий характер. Кроме того, обобщенный широкий перечень

технологий затрудняет разработку конкретных программ достижения рассчитанного сокращения выбросов. Предлагаемая мера «контроль выбросов на мотоциклах и мопедах» вряд ли может рассматриваться как эффективная, так как данные транспортные средства мало распространены в Беларуси и вклад их в выбросы ТЧ несущественный.

Для использования в качестве документа при обсуждении Гетеборгского протокола и, в частности, при установлении потолков выбросов и оценке потенциала сокращения выбросов, сценарий «ключевых мер» должен быть улучшен. В связи с этим выполнена оценка потенциала сокращения выбросов ТЧ в основных секторах – источниках выбросов.

Методы и информационная база. Для оценки потенциала снижения выбросов ТЧ использован следующий подход.

На первом этапе по имеющимся данным [1, 2] определены сектора, вносящие наибольший вклад в выбросы ТЧ.

На втором этапе выполнено сравнение фактических уровней пылеочистки выбросов в секторах с потенциальными достижимыми при использовании лучших имеющихся технологий, а также с учетом вклада в валовые выбросы ТЧ, и намечены приоритетные сектора для снижения выбросов ТЧ. Приоритет отдавался секторам, где значительная часть ТЧ выбрасывается без очистки, поскольку в таких случаях предельные затраты будут равны удельным.

На третьем этапе проведена количественная оценка затрат с использованием показателей удельных затрат, учитывающих как инвестиции в установку оборудования, так и приведенные текущие затраты на энергетические, трудовые и другие ресурсы, необходимые для обеспечения заданных показателей эффективности. Информационной базой оценок потенциала послужили ранее выполненные исследования [1–4], данные

статистической отчетности о выбросах ТЧ [5], базы данных GAINS.

Источники выбросов ТЧ и уровни пылеочистки

Стационарное сжигание топлива

Энергетика. В настоящее время выбросы ТЧ от процессов сжигания в электроэнергетике составляют около 800 т (814 т в 2009 г.). Это около 2 % от суммарных выбросов ТЧ в Беларуси или 6,5 % от выбросов ТЧ при сжигании топлива стационарными источниками (табл. 3). На ТЭЦ Беларуси в основном сжигается природный газ и топочный мазут; очистка выбросов от золы в данном случае не производится. Средний уровень эффективности золоулавливания в энергетике, по статистическим данным, составляет 98 %. Вместе с тем на ряде котельных, которые обеспечивают 14 % суммарных выбросов ТЧ от сжигания топлива, пылеулавливающие установки отсутствуют, в связи с чем в энергетике доля улавливаемых частиц (рассчитываемая как отношение выбрасываемой пыли к пылевыделению, в процентах) составила в 2009 г. 78,5 %. Соответственно, определенный потенциал сокращения выбросов ТЧ в данной отрасли имеется.

Таблица 3. Характеристика источников пылевых выбросов и уровней пылеочистки на территории Беларуси (по состоянию на 2009 г.)

Сектор	Основные источники пылевыделения	Выбросы пыли, тыс. т/год	Средняя эффективность пылеулавливающего оборудования, %	Доля пыли, выбрасываемой без очистки, %	Среднеотраслевая эффективность пылеулавливания, %
Стационарное сжигание топлива					
Электроэнергетика	Котлы	0,81	98	14	78,5
Сжигание в промышленности (кроме энергетики)	»	2,78	89	30	60,5
Сжигание в сельском хозяйстве	»	0,83	80–89	99,5	0,50
Жилищно-коммунальное хозяйство	»	6,56	83	89	9,5
Выбросы от технологических процессов					
Черная металлургия	Вагранки, электропечи, индукционные печи	0,68	80–99	0,7	98,3
Промышленность строительных материалов	Печи обжига	7,77	92,5–99,5	0,3	99
Химическая промышленность		2,89	98–99	0,2	99,6

Сжигание топлива в промышленности. Выбросы твердых веществ от сжигания топлива в промышленности в 2009 г. составили 2,78 тыс. т. Средняя эффективность золоулавливания при сжигании топлива в промышленных котлах по статистическим данным – 87–88 %. Вместе с тем на многих предприятиях, оснащенных преимущественно малыми котлами, предназначенными для сжигания древесных отходов, очистка отсутствует. По данным статистики, примерно 30 %

выбросов ТЧ (в сумме около 2,2 тыс. т), образующихся при сжигании топлива на предприятиях промышленности, поступает в атмосферу без очистки (табл. 3). В общем средняя эффективность улавливаемых твердых веществ при сжигании топлива в промышленности составляет 60,5 %. Для отдельных отраслей промышленности данный показатель существенно ниже. Так, в деревообрабатывающей промышленности 33 % твердых частиц (золы) выбрасывается без очист-

ки. Это означает, что для вышеупомянутой категории источников имеется значительный потенциал снижения выбросов ТЧ, прежде всего, за счет оборудования твердотопливных котлов системами пылегазоочистки.

Жилищно-коммунальный сектор. Общие годовые выбросы ТЧ от данной категории источников, согласно данным статистической отчетности, составили в 2009 г. 6,57 тыс. т, или около 53 % суммарных выбросов ТЧ от сжигания топлива в отраслях экономики Беларуси и 14 % общих выбросов ТЧ в стране. В жилищно-коммунальном секторе, представленном преимущественно котельными местного значения, на долю твердых видов топлива приходится примерно 34 %.

Среднеотраслевая эффективность золоулавливания составляет 83 %. Однако в большинстве случаев пылегазоочистное оборудование отсутствует: в 2009 г. 6,42 тыс. т ТЧ, или 89 %, выброшено без очистки. В общем для данного сектора можно говорить о значительном потенциале снижения выбросов, но для достижения этого необходимы: внедрение систем пылегазоочистки, модернизация котлов для оптимизации условий сжигания топлива, а также улучшение обращения с топливом, что потребует дополнительных финансовых затрат.

Сжигание топлива в сельском хозяйстве. В сельском хозяйстве ситуация со сжиганием топлива сходна с ситуацией в жилищно-коммунальном секторе. Выбросы твердых веществ от сжигания топлива в сельском хозяйстве в 2009 г. составили 826 т, в том числе без очистки выбрасывается более 99 %.

Бытовой сектор. Отопительные системы в бытовом секторе Беларуси представлены преимущественно печами, реже – каминами, варочными плитами, котлами. При сжигании твердого топлива в бытовом секторе практически не используются пылегазоочистные установки. В целом в бытовом секторе потенциал снижения выбросов ТЧ значительный, однако его реализация затруднена. Для снижения выбросов необходима разработка и реализация специальной программы модернизации отопительных систем.

Технологические процессы

Производство металлов. Средняя эффективность пылеочистки выбросов в черной металлургии составляет 98,3 %, при этом 0,7 % пыли выбрасывается без очистки.

Основное количество стали производится в электродуговых печах. Выполненный анализ показал, что вклад электродуговых печей в валовые выбросы ТЧ на предприятиях, на которых они установлены, варьирует от 11 до 65 %. Согласно оценкам, примерно 94 % стали выплавляется в печах, оборудованных системами пылегазоочистки с эффективностью 99 %; 3 % – с эффективностью пылеочистки более 90 %, и 3 % – с

эффективностью пылеочистки менее 90 %. В общем среднюю эффективность очистки выбросов электродуговых печей от ТЧ можно принять равной 99 %.

В индукционных печах выплавляется весьма незначительная доля стали. Системы пылегазоочистки при производстве стали в индукционных печах обычно отсутствуют.

В целом потенциал снижения организованных выбросов ТЧ при выплавке стали в Беларуси следует оценивать как средний; однако внедрение систем пылегазоочистки на индукционных печах весьма важно с точки зрения улучшения экологической ситуации на локальном уровне. Для электродуговых печей имеется существенный потенциал снижения неорганизованных выбросов ТЧ.

Основная часть чугунного литья в Беларуси производится в открытых вагранках с холодным дутьем. При производстве чугунного литья в таких вагранках характерны весьма высокие уровни поступления ТЧ в атмосферный воздух. В последние годы несколько расширилось использование индукционных печей.

В целом для снижения выбросов твердых частиц при выплавке чугунного литья имеется значительный потенциал, некоторая часть которого может быть достигнута за счет повышения эффективности пылеулавливания. В основном же требуется реконструкция производственного процесса, в частности переход на закрытые вагранки. Существует значительный резерв снижения неорганизованных выбросов.

Промышленность строительных материалов – один из основных источников выбросов пыли: в 2009 г. выбросы составили 7,77 тыс. т при среднеотраслевой эффективности пылеулавливания 99 %. Наиболее крупным источником выбросов ТЧ в производстве строительных материалов в Беларуси является цементная промышленность. Печи по производству цемента оснащены электрофильтрами с эффективностью пылеулавливания 99,2–99,7 %, реже – электрофильтрами с эффективностью 88,5 %. Средняя эффективность пылеулавливания от вращающихся печей в настоящее время оценивается в 99,5 %. В целом в цементной промышленности уровень пылегазоочистки достаточно высокий, хотя фактические уровни очистки в ряде случаев ниже проектных, поэтому имеется возможность снижения выбросов за счет улучшения системы обслуживания электрофильтров.

Печи по обжигу известня оснащены электрофильтрами с эффективностью от 97,7 % до 99,2 %; средняя эффективность оценивается на уровне 98,5 %. Таким образом, потенциал снижения выбросов на данном оборудовании имеется.

Производство минеральных удобрений. Основной вид пыли в выбросах при производстве калийных удобрений – хлористый калий (до

1600 т/г.). Средний уровень очистки отходящих газов от ТЧ в установках обеспыливания – более 99 %.

Выбросы твердых веществ при производстве фосфатных удобрений составляют около 300 т/г. Фактическая эффективность очистки выбросов – около 98%.

Выбросы ТЧ при производстве азотных удобрений составляют около 850 т, из которых примерно 300 т/г. выбрасывается без очистки. В общем анализ используемых систем улавливания ТЧ свидетельствует об имеющихся резервах повышения эффективности улавливания ТЧ при производстве минеральных удобрений.

Таким образом, наименьший средний уровень очистки выбросов от ТЧ при стационарном сжигании топлива характерен для жилищно-коммунального хозяйства и сельского хозяйства; значительный потенциал сокращения выбросов ТЧ имеется в промышленности. В бытовом секторе выбросы практически не очищаются, однако с учетом преобладания в данном секторе печей в качестве отопительных установок, можно ожи-

дать, что потенциал снижения выбросов в данном секторе для своей реализации потребует чрезмерных затрат, поскольку отсутствуют доступные и экономически эффективные методы снижения выбросов от таких установок.

Для выделенных приоритетных секторов выполнена оценка потенциала сокращения выбросов ТЧ и необходимые затраты на его реализацию с использование упрощенной методологии GAINS: на основе использования объемов сжигания топлива/объемов производства, удельных показателей пылевыделения, средних фактических и достижимых уровней пылеочистки, удельных затрат на снижение выбросов по категориям источников. Потенциал сокращения оценивался в абсолютных (т/г.) и относительных (проценты от исходного уровня) величинах.

Для оценки затрат на снижение выбросов при реализации сценария «ключевых мер» использованы показатели удельных затрат из баз данных GAINS [8]. Результаты расчетов приведены в табл. 4–5.

Таблица 4. Потенциал сокращения выбросов ТЧ при стационарном сжигании топлива на территории Беларуси и требуемые для этого затраты

Сектор	Источник пылевыделения	Доступное сокращение выбросов, тыс. т		Удельные затраты, млн евро на 1 тыс. т ТЧ	Необходимые затраты, млн евро/г.
		ТЧ	ТЧ2,5		
Энергетика	котлы	0,61	0,14	0,14	0,09
Сжигание в промышленности	котлы	3,40	0,69	0,69	1,04
Сжигание в сельском хозяйстве	котлы	0,74	0,12	0,12	0,20
Жилищно-коммунальное хозяйство (коммерческий сектор)	котлы	3,87	2,23	2,23	2,20
Бытовой сектор	котлы, печи	3,75	3,00	3,00	36,62
Всего		12,37	6,18		40,16

Таблица 5. Потенциал сокращения выбросов ТЧ в промышленности и необходимые затраты

Сектор	Основной источник пылевыделения	Достижимое сокращение выбросов, тыс. т		Удельные затраты, млн евро на 1 тыс. т ТЧ	Необходимые затраты, млн евро/г.
		ТЧ	ТЧ2,5		
Черная металлургия		0,68	0,14	5,68	3,86
Чугунное литье	Открытые вагранки	0,47	0,047	5,70	2,68
Сталь	Электродуговые печи	0,21	0,09	5,66	1,18
Производство строительных материалов		2,48	1,68	7,15	17,73
Цемент	Печи обжига	1,70	0,98	3,38	5,74
Известь	Печи обжига	0,79	0,69	15,18	11,99
Производство минеральных удобрений		2,70	0,97	0,79	1,98
Всего		5,87	2,79		23,64

Для стационарного сжигания топлива потенциал сокращения выбросов ТЧ оценивался как доля золы, которая ныне выбрасывается без очистки и которая будет уловлена при доведении уровня золоулавливания до среднеотраслевого значения. Удельные затраты, приведенные на

единицу уловленного вещества при сжигании топлива, варьируют в пределах от 0,12 (для сельского хозяйства) до 3,00 млн евро/тыс. т (для бытового сектора). Общее возможное сокращение выбросов ТЧ от сжигания твердого топлива (без учета бытового сектора) оценены в 8,6 тыс. т,

ТЧ2,5 – 3,2 тыс. т (табл. 4, рис. 1). Затраты на сокращение выбросов составят 3,5 млн евро/г. Наибольшим потенциалом характеризуется жилищно-коммунальное хозяйство, где выбросы ТЧ

могут быть сокращены на 3,9 тыс. т, в том числе ТЧ2,5 – на 2,2 тыс. т. Необходимые затраты составят 2,2 млн евро/г.

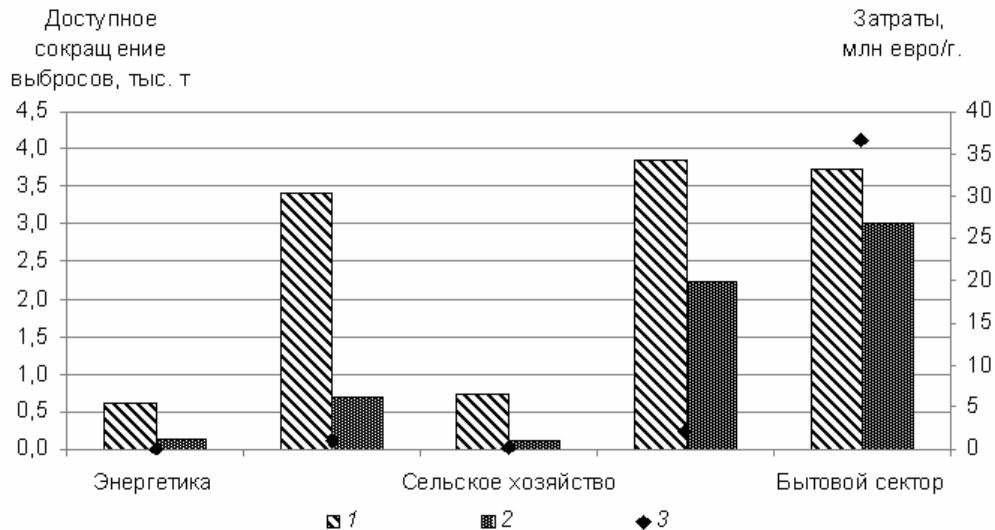


Рис. 1. Доступное сокращение выбросов ТЧ и ТЧ2,5 при сжигании топлива в отдельных секторах:
1 – выбросы ТЧ; 2 – выбросы ТЧ2,5; 3 – затраты

В промышленном сжигании выбросы ТЧ могут быть сокращены на 3,4 тыс. т, в том числе ТЧ2,5 – на 0,7 тыс. т. Необходимые затраты составят 1,0 млн евро/г.

В энергетике выбросы ТЧ могут быть снижены на 0,6 тыс. т, ТЧ2,5 – на 0,1 тыс. т. Необходимые затраты составят 0,1 млн евро/г.

В бытовом секторе доступная сокращению величина выбросов оценена в объеме 3,8 тыс. т ТЧ и 3,0 тыс. т ТЧ2,5. Такое сокращение, с учетом доступных технологий, потребует ежегодных затрат в объеме 36,6 млн евро/г.

В промышленности большинство источников пылевыделения оснащено пылеочистным оборудованием с довольно высокими средними уровнями пылеочистки. Потенциал сокращения выбросов от технологических процессов оценивался для каждого сектора путем сопоставления фактических уровней пылеочистки с наилучшими доступными технологиями с учетом доли неорганизованных источников выбросов. Затраты на повышение уровня пылеочистки оценивались как дополнительные (предельные) затраты (табл. 5, рис. 2). Неопределенность оценок предельных затрат существенно более высокая, чем для источников при сжигании топлива, вследствие необходимости оценки также текущего состояния пылеулавливающего оборудования.

В качестве источников, приоритетных для реализации мер по снижению выбросов можно выделить врачающиеся печи в производстве цемента и извести, производство удобрений, а также чугунолитейные вагранки и, в меньшей степени, электродуговые печи. Достижимое со-

кращение выбросов ТЧ от этих процессов составляет, согласно выполненным оценкам, 5,9 тыс. т, ТЧ2,5 – 2,8 тыс. т. Ежегодные дополнительные затраты составят 23,6 млн евро, в том числе 5,7 млн евро в производстве цемента, и 12 млн евро – в производстве извести.

Выполнена также оценка потенциала сокращения выбросов от передвижных источников; потенциал оценивался по разности между текущими выбросами и уровнями выбросов от транспортных средств классов Евро-4 (Евро-IV). Теоретически достижимый уровень очистки выбросов моторных транспортных средств этих классов составляет 88 %, в качестве практически достижимого принят уровень 70 %. Оценивалось лишь сокращение выбросов ТЧ с выхлопными газами. В транспортном секторе (включая внедорожный транспорт) при достижении уровня выбросов, соответствующих стандартам Евро-4 (IV), выбросы ТЧ и ТЧ2,5 могут сократиться на 25 % и 37 % (соответственно на 3,9 и 2,0 тыс. т). Ежегодные затраты составят 18,7 млн евро. Среди передвижных источников наибольшее сокращение возможно для внедорожных источников (1,9 тыс. т) и дизельных грузовых автомобилей и автобусов (1,0 тыс. т), тогда как наибольшие затраты потребуются для снижения выбросов ТЧ от бензиновых легковых автомобилей (8,5 млн евро/г.). Учитывая недостаток информации о структуре транспортных средств и их состоянии, доступных технологиях снижения выбросов ТЧ, оценки потенциала снижения выбросов ТЧ от мобильных источников необходимо рассматривать как ориентировочные.

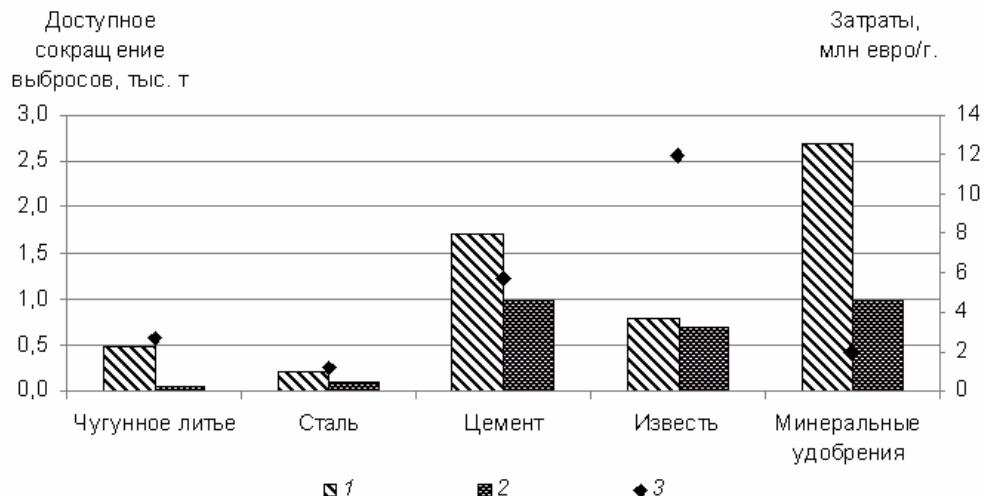


Рис. 2. Доступное сокращение выбросов ТЧ и ТЧ2,5 при производстве промышленной продукции:
1 – выбросы ТЧ; 2 – выбросы ТЧ2,5; 3 – затраты

Общий потенциал снижения выбросов в ключевых секторах (стационарное сжигание топлива без бытового сектора и процессы в промышленности) оценивается в 14,5 тыс. т, ТЧ2,5 – 6,0 тыс. т, что составляет 17 % валовых выбросов ТЧ и 23 % ТЧ2,5. С учетом мобильных источников потенциал сокращения составит 18,4 тыс. т ТЧ, ТЧ2,5 – 7,9 тыс. т (21 % валовых выбросов ТЧ и 30 % ТЧ2,5). С учетом бытового сектора выбросы ТЧ могут быть сокращены на 22,2 тыс. т, ТЧ2,5 – на 10,9 тыс. т, что составляет соответственно 26 % валовых выбросов ТЧ и 41 % валовых выбросов ТЧ2,5.

Необходимые затраты на реализацию первоочередных мер по снижению выбросов ТЧ оцениваются в 27,1 млн евро, с учетом снижения в транспортном секторе – 45,9 млн евро/г., с учетом бытового сектора – 82,5 млн евро/г.

Сравнение полученных оценок потенциала сокращения выбросов ТЧ и сценария «ключевых мер» (CIAM 2008) показало существенные различия между ними. По сценарию CIAM наибольший потенциал снижения выбросов ТЧ2,5 характерен для передвижных источников (3,2 тыс. т); на втором месте – снижение выбросов ТЧ2,5 от промышленных источников; общее ожидаемое сокращение ТЧ2,5 составит 5 тыс. т. Выполненные расчеты показывают, что наибольший потенциал, с точки зрения технической осуществимости и экономической эффективности, характерен для стационарного сжигания топлива – в первую очередь, в жилищно-коммунальном хозяйстве (2,2 тыс. т ТЧ2,5) и промышленности (0,7 тыс. т. ТЧ2,5). Далее по эффективности следует реализация мер по снижению выбросов ТЧ от ряда технологических процессов (цемент, из-

весть, чугунное литье, минеральные удобрения), процессов, для которых уже существует высокий уровень газоочистки от ТЧ. Требуемые затраты дополнительных ресурсов в таком случае являются предельными, что обуславливает снижение необходимых валовых затрат. На практике предельные затраты применимы для оборудования, имеющего остаточную стоимость, т. е. срок эксплуатации которого не превышает установленный (обычно 20 лет). Значительным потенциалом снижения выбросов обладают бытовой сектор, дорожные и внедорожные передвижные источники. Однако реализация этого потенциала в данных секторах потребует больших финансовых затрат, и, с учетом того, что большая часть данных источников находится в личной собственности, широкомасштабная практическая реализация мер по снижению выбросов может быть технически и организационно трудноосуществима.

В целом исследование показало, что использованная методология анализа потенциала снижения выбросов ТЧ может служить эффективным дополнением анализа сценариев снижения выбросов с использованием модели GAINS и найти свое применение при разработке стратегии снижения воздействий на атмосферный воздух.

Работа выполнена в рамках задания 2.26 ГНТП «Экологическая безопасность» и проекта «Валидация данных по загрязнению окружающего воздуха в Республике Беларусь в рамках Конвенции по трансграничному загрязнению воздуха на большие расстояния – КТЗВБР» (IP 1001, В/Р 19/4/2), фаза I, финансируемого Шведским агентством международного сотрудничества и развития (Sida).

Литература

1. **Какарека С. В., Мальчихина А. В., Крылович А. В.** Источники и уровни выбросов твердыхзвешенных частиц на территории Беларуси // Природные ресурсы. 2007. № 2. С. 20–32.
2. **Какарека С. В., Круковская О. Ю.** Оценка потенциала снижения выбросов твердых частиц // Природопользование. Минск, 2011. Вып. 19. С. 22–30.
3. **Какарека С. В., Мальчихина А. В.** Прогноз выбросов загрязняющих веществ до 2020 г. на территории Беларуси // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 23–29.
4. **Какарека С. В.** Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование. Минск, 2009.
5. Охрана окружающей среды в Беларуси: Стат. сб. Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. Минск, 2010.
6. Протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном к конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния 1979 года. 1999.
7. Modelling Particulate Emissions in Europe. A Framework to Estimate Reduction Potential and Control Costs // Klimont Z., Cofala J., Bertok I., Amann M., Heyes C., Gyarfas F. 2002. IR-02-076.
8. RAINS Review. Documentation of the model approach prepared for the RAINS, 2004. Thematic Strategy on Air Pollution / Commission of the European Communities. Brusells, 2005.
9. Scenarios of SO₂, NO_x, and PM emissions in the non-EU countries up to 2020. CIAM Report 2/2008. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2008.
10. The potential for further control of emissions of fine particulate matter in Europe // Cofala J., Klimont Z., Amann M. 2006. IR-06-011.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 3.10.2011

C. В. Какарека, О. Ю. Круковская

ПОТЕНЦИАЛ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Статья посвящена анализу потенциала снижения выбросов твердых частиц в атмосферный воздух с использованием методологии модели GAINS. Описаны использованные методические подходы, состав входной информации. В качестве приоритетных секторов для снижения выбросов ТЧ выявлены сжигание топлива в жилищно-коммунальном хозяйстве, промышленности, сельском хозяйстве; ряд процессов в черной металлургии, промышленности строительных материалов, производстве минеральных удобрений. С использованием алгоритмов модели GAINS выполнена экономическая оценка реализации мероприятий по снижению выбросов в ключевых секторах.

Общий потенциал снижения выбросов твердых частиц в ключевых секторах (стационарное сжигание топлива без бытового сектора, и процессы в промышленности) оценивается в 14,5 тыс. т, ТЧ2,5 – 6,0 тыс. т, что составляет 17 % валовых выбросов ТЧ и 23 % ТЧ2,5. С учетом передвижных источников потенциал сокращения составит 18,4 тыс. т ТЧ, ТЧ2,5 – 7,9 тыс. т (21 % валовых выбросов ТЧ и 30 % ТЧ2,5). С учетом бытового сектора выбросы ТЧ могут быть сокращены на 22,2 тыс. т, ТЧ2,5 – на 10,9 тыс. т, что составляет соответственно 26 % валовых выбросов ТЧ и 41 % валовых выбросов ТЧ2,5. Необходимые затраты на реализацию первоочередных мер по снижению выбросов ТЧ составят 27,1 млн. евро, с учетом мер снижения выбросов в транспортном секторе – 45,9 млн. евро/г.

Выполнено сравнение оценок потенциала снижения выбросов твердых частиц с оценками CIAM (2008).

S. Kakareka, O. Krukowskaya

PARTICULATE MATTER AIR EMISSION REDUCTION POTENTIAL IN BELARUS

The paper is devoted to analysis of potential of PM emission reduction in Belarus using GAINS model methodology. Methodological principals of analysis are described, input information composition. Using GAINS algorithms costs of abatement is assessed. As priority emission sectors the following ones are shown: stationary fuel combustion in residential-communal sector, industry and agriculture; some sectors in ferrous industry, building materials industry, fertilizers production. Total potential of particulate matter emission reduction in this sectors (stationary fuel incineration without household sector, and industry processes) is assessed as 14.5 thous. tons, including 6.0 thous. tons of PM2.5, which is equivalent to 17 % of total PM and 23 % of total PM2.5 emission. With accounting of mobile sources PM emission can be reduced by 22.2 thous. tons, PM2.5 – 10,9 thous. tons. Costs of abatement in key sectors will amount 27.1 mln. Euro, with account of measures on emission reduction in transport sector – 45.9 mln. Euro.

Results were compared with key measures scenario of CIAM (2008).

Г. А. Камышенко

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОДНОРОДНОСТИ РЯДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА БЕЛАРУСИ

Представлены результаты пространственно-временного анализа изменения температуры воздуха Беларуси на областном и региональном уровнях за период 1945–2009 гг. Выявлены территориально распределенные временные границы однородных интервалов, характеризующих особенности температурного режима на территории страны, установлена их устойчивость и повторяемость во времени и пространстве.

В последние десятилетия интерес к проблеме современных климатических изменений не ослабевает не только ученых, но и у людей, далеких от науки, что свидетельствует об актуальности исследований в области климатологии и метеорологии. Несмотря на выполненные исследования изменений климата в Беларуси с анализом их последствий для ключевых секторов экономики [1, 2], остается актуальным проведение дальнейших системных исследований в данной области, что обусловлено, в первую очередь, участием проявлением опасных метеорологических явлений на территории страны.

Исследование пространственно-временной изменчивости температуры воздуха реализуется посредством анализа динамики соответствующих временных статистических рядов данных, при этом одним из ключевых моментов является выявление в рядах однородных отрезков. Климатологически однородным считается ряд, характеристики которого изменяются от года к году или от некоторого периода лет к другому периоду лишь в соответствии с естественной изменчивостью геофизических и геохимических процессов в рамках определенных границ статистической изменчивости рядов.

Контроль климатологической однородности рядов наблюдений может быть выполнен с помощью традиционных методов: метода сопоставления данных одной и той же станции по годам, а также метода соответствующих разностей [4].

Метод сопоставления данных одной и той же станции по годам применим в тех случаях, когда естественная изменчивость характеристики меньше изменения, вызываемого неоднородностью ряда. Устойчивость статистических характеристик наибольшая для среднегодовых значений. Этот метод эффективен при оценке однородности рядов ежегодного числа дней со штилем, туманом, осадками, грозами. Однако при исследовании температуры воздуха и количества осадков, естественные межгодовые колебания которых довольно велики, данный метод не приводит к нужным результатам.

Другой метод выявления неоднородности рядов, т. е. метод соответствующих разностей, становится возможным потому, что для многих гидрометеорологических характеристик разность их значений на двух соседних станциях изменяется от года к году заметно меньше, чем сами значения этих характеристик. Признаком нарушения однородности ряда наблюдений является резкое изменение разности значений, начиная с какого-то года, по сравнению с предыдущим периодом. При происходящих в последнее время изменениях климата метеорологические ряды заведомо статистически неоднородны, что ограничивает применение к таким рядам многих статистических методов.

Нами при исследовании временных рядов метеорологических и других показателей используется оригинальный метод, в основе которого лежит концепция однородного многомерного случайного процесса. Гипотеза об однородности принимается, если для любого разбиения матрицы данных на две части выполняется условие

$$\theta_1 - \theta_2 = \{0, \dots, 0\}, \quad (1)$$

где θ_1 – вектор-строка средних значений m одномерных процессов (оценка математического ожидания многомерного процесса) по первым k сечениям процесса; θ_2 – вектор-строка, оценка математического ожидания процесса по последним $(n-k)$ сечениям.

В качестве критерия однородности / неоднородности временного многомерного ряда используется статистика V [7]:

$$V = \frac{n-1}{n(n-k)} \sum_{j=1}^m \frac{[(n-k) \sum_{i=1}^k x_{ij} - k \sum_{i=k+1}^n x_{ij}]^2}{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_{ij})^2}, \quad (2)$$

где n – длина ряда; k – точка сечения, $1 < k < n$; m – число рядов (одномерных процессов), $m \geq 1$; x_{ij} – ряд (одномерный процесс).

Гипотеза однородности принимается, если для всех сечений ряда на два отрезка значение критерия $V \leq V_{\text{крит}}$; $V_{\text{крит}}$ – статистика, распреде-

ленная как χ^2 с m степенями свободы, где m – размерность вектора (число рядов).

Статистика V , описанная уравнением (2), названа критерием Д. А. Родионова [3], который использовал данный подход при расчленении геологических разрезов (немых толщ). Нами статистика V используется в разработанном программном комплексе, предназначенном для последовательного дихотомического деления многомерного ряда на однородные отрезки разной длины. Длина выделяемого отрезка составляет не менее 3 лет. При этом следует отметить, что выделенные по температурному показателю в отдельных случаях столь короткие отрезки трактуются нами как флюктуации, а не как однородные временные интервалы.

В алгоритме программы применяется процедура, позволяющая проверять гипотезу однородности ряда или его частей не только для основного значения уровня достоверности (0,05), приравненного нами к 1, но и других значений, больших и меньших 1, т. е. для проверки гипотезы однородности при уменьшении или увеличении критического уровня. При $q > 1$ требования к гипотезе однородности снижаются, при $q < 1$ – повышаются. Метод обладает достаточно высокой чувствительностью, что полезно при разбиении на однородные отрезки коротких рядов и рядов с недостаточно выраженным изменениями вектора значений.

В результате выполненного ранее исследования однородности рядов температуры воздуха Беларуси [5, 6] для временного интервала 1960–2003 гг. сделан вывод, что современное потепление климата на территории страны проявляется как многоэтапный неоднородный стохастический процесс. Установлено, что потепление наиболее выражено в январе – апреле, почти не проявляется в летний период, статистически не выражено в сентябре – октябре и переходит в слабо выраженное похолодание в ноябре – декабре. Выявлены региональные климатические реперы: для января – 1987, 1994, 1997 гг. для каждой из областей; 1987 г. (или 1988 г.) – в марте; 2000 г. – для всех областей в июле; 1990 г. – в августе; 1988 г. (или 1987 г.) – для годовых температур.

В представленном исследовании в качестве фактографической основы использованы ряды среднемесячных и среднегодовых температур воздуха шести административных областей Беларуси за период 1945–2009 гг. Посредством применения указанного выше программного комплекса проведено последовательное дихотомическое деление исследуемых временных рядов на однородные отрезки. Осуществлено деление на отрезки как одномерных рядов данных, характеризующих температурный режим на уровне конкретных административных областей, так и

многомерного ряда, составляющими которого являются исследуемые одновременно 6 рядов температурных данных по областям Беларуси, т. е. реализованы соответственно однокомпонентный и многокомпонентный анализ.

Выполнено сравнение вычисленных средних температурных значений выделенных однородных интервалов с аналогичными средними значениями за период 1945–2009 гг. При этом изначально планировалось при сравнении опираться на многолетние климатические нормы температуры воздуха, рассчитанные по длиннорядным метеостанциям за столетний период (1891–1990 гг.). Однако потепление последних лет существенно повысило значения климатических норм, поэтому использование в данном исследовании норм за столетний период является не совсем корректным. Сравнение с многолетними климатическими нормами температуры воздуха нами применено в случаях, когда исходный временной интервал не удалось разбить на однородные отрезки.

Однокомпонентный анализ. Результаты проверки гипотезы однородности / неоднородности временных рядов (1945–2009 гг.) среднемесячных температур воздуха административных областей страны ($m = 1$, $n = 65$, число вариантов равно 6×12) приведены в табл. 1. В данном случае исследованы одномерные статистические ряды, характеризующие среднемесячную температуру воздуха по каждой области в отдельности, т. е. выполнен однокомпонентный анализ.

Установлено, что в *январе* основная граница деления – 1987 г., только для Могилевской области отмечается граница однородности в 1988 г. На юго-востоке январская температура оказалась более неустойчивой, чем на остальной части территории страны. При этом в январе на юге и юго-востоке Беларуси самое значительное потепление, начавшееся с 1988 г. (в Могилевской области – с 1989 г.), продлилось до 1994 г. и превысило в указанный период среднее значение на всем исследуемом временном интервале в Брестской области на $3,9^{\circ}\text{C}$, в Гомельской области – на $4,0^{\circ}\text{C}$, в Могилевской области – на $4,4^{\circ}\text{C}$. В последующие годы (с 1995 по 2009 г.) потепление оказалось менее интенсивным. В Витебской области зафиксировано поступательное повышение температуры воздуха января, причем в период с 1988 по 2009 г. оно составило $4,0^{\circ}\text{C}$ по отношению к среднему значению предыдущего выделенного временного интервала.

В *феврале* разбиение рядов не зафиксировано, т. е. в целом февральские температуры оказались статистически однородными на всей территории страны. Однако по отношению к многолетним климатическим нормам средняя февральская температура повысилась на $0,5\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$.

**Таблица 1. Однородные временные интервалы температурного режима Беларуси (1945–2009 гг.)
с указанием средних значений температуры воздуха (T , $^{\circ}\text{C}$) (однокомпонентный анализ)**

Область	Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь	
	Период, гг.	T , $^{\circ}\text{C}$										
Брестская	1945–1987	-5,7	1945–2009	-4,0	1945–1971	-1,1	1945–1952	8,4	1945–1980	12,9	1945–1972	16,7
	1988–1994	-0,7			1972–2009	1,2	1953–1958	5,4	1981–2009	13,8	1973–1994	16,0
	1995–2009	-3,4					1959–1997	7,1			1995–1999	17,9
	Среднее значение	-4,6	Среднее значение	-4,0	Среднее значение	0,2	Среднее значение	7,4	Среднее значение	13,3	Среднее значение	16,6
Витебская	1945–1987	-7,8	1945–2009	-6,3	1945–1971	-3,7	1945–1953	6,5	1945–2009	12,1	1945–2009	15,8
	1988–2009	-3,8			1972–1987	-1,8	1954–1956	1,9				
	Среднее значение	-6,4	Среднее значение	-6,3	1988–2009	-0,1	1957–1988	5,1		12,1	Среднее значение	15,8
Гомельская	1945–1987	-6,9	1945–2009	-5,0	1945–1961	-1,5	1945–1997	7,3	1945–2009	13,8	1945–2009	17,2
	1988–1994	-1,7			1962–1965	-4,3	1998–2001	10,4				
	1995–1997	-6,6			1966–1984	-0,4	2002–2009	8,2				
	1998–2009	-3,3			1985–1987	-3,1					Среднее значение	17,2
	Среднее значение	-5,7	Среднее значение	-5,0	1988–2009	1,3						
Гродненская	1945–1987	-6,0	1945–2009	-4,6	1945–1971	-1,9	1945–1952	7,8	1945–2009	12,6	1945–2009	16,0
	1988–2009	-2,9			1972–2009	0,3	1953–1958	4,6				
	Среднее значение	-5,0	Среднее значение	-4,6	Среднее значение	-0,6	1959–1997	6,2		12,6	Среднее значение	16,0
Минская	1945–1987	-7,1	1945–2009	-5,4	1945–1988	-2,0	1945–1952	7,3	1945–2009	12,1	1945–2009	16,0
	1988–2009	-3,5			1989–2009	0,5	1953–1956	3,7		12,9		
	Среднее значение	-5,9	Среднее значение	-5,4	Среднее значение	-1,2	1957–1988	5,8			Среднее значение	16,0
					1989–2009	7,5						
Могилевская	1945–1988	-7,8	1945–2009	-6,3	1945–1961	-3,0	1945–1998	6,2	1945–2009	12,8	1945–1956	17,1
	1989–1994	-2,2			1962–1965	-5,6	1999–2001	10,1			1957–2009	16,3
	1995–1997	-7,2			1966–1987	-1,8	2002–2009	7,0				
	1998–2009	-4,2			1988–2009	0,1						
	Среднее значение	-6,6	Среднее значение	-6,3	Среднее значение	-1,7	Среднее значение	6,4		12,8	Среднее значение	16,5

Окончание табл. 1

Область	Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
	Период, гг.	T, °C										
Брестская	1945–1998	17,8	1945–1950	16,8	1945–1955	13,2	1945–1951	5,3	1945–2009	1,7	1945–2009	-2,3
	1999–2009	19,6	1951–1955	18,0	1956–2004	12,3	1952–2003	7,1				
			1956–1990	16,7	2005–2009	13,7	2004–2009	8,3				
			1991–2009	18,0								
Витебская	Среднее значение	18,1	Среднее значение	17,2	Среднее значение	12,6	Среднее значение	7,0	Среднее значение	1,7	Среднее значение	-2,3
	1945–1998	17,0	1945–1955	16,4	1945–2003	11,1	1945–1947	2,9	1945–2009	0,1	1945–2009	-4,1
	1999–2009	18,8	1956–1990	15,7	2004–2009	12,5	1948–2009	5,8				
	Среднее значение	17,3	Среднее значение	16,2	Среднее значение	11,2	Среднее значение	5,7	Среднее значение	0,1	Среднее значение	-4,1
Гомельская	1945–1998	18,3	1945–1955	17,8	1945–2004	12,4	1945–1951	4,9	1945–2009	0,9	1945–2009	-3,1
	1999–2009	20,2	1956–1990	17,1	2005–2009	13,8	1952–2003	6,8				
			1991–2009	18,2			2004–2009	8,2				
	Среднее значение	18,6	Среднее значение	17,5	Среднее значение	12,5	Среднее значение	6,7	Среднее значение	0,9	Среднее значение	-3,1
Гродненская	1945–1998	17,3	1945–1950	16,5	1945–1955	13,0	1945–1952	5,3	1945–2009	1,3	1945–2009	-2,7
	1999–2009	19,0	1951–1955	17,8	1956–2004	11,8	1953–2009	6,8				
			1956–1990	16,3	2005–2009	13,4						
	Среднее значение	17,5	Среднее значение	16,8	Среднее значение	12,1	Среднее значение	6,6	Среднее значение	1,3	Среднее значение	-2,7
Минская	1945–1998	17,3	1945–1990	16,3	1945–2003	11,7	1945–1951	4,5	1945–1999	0,2	1945–2009	-3,5
	1999–2009	19,2	1991–2009	17,5	2004–2009	13,0	1952–2009	6,4	2000–2009	1,9		
	Среднее значение	17,7	Среднее значение	16,7	Среднее значение	11,8	Среднее значение	6,2	Среднее значение	0,5	Среднее значение	-3,5
Могилевская	1945–1998	17,5	1945–1955	17,2	1945–2009	11,6	1945–1947	3,0	1945–2009	-0,1	1945–2009	-4,2
	1999–2009	19,3	1956–2000	16,4			1948–2003	5,7				
	Среднее значение	17,8	Среднее значение	16,7	Среднее значение	11,6	2004–2009	7,3	Среднее значение	-0,1	Среднее значение	-4,2

В марте температурные ряды по Гомельской и Могилевской областям (аналогично с январскими данными) имеют более сложную структуру, чем данные, характеризующие остальную часть территории страны. Здесь с 1962 по 1965 г. по отношению к предыдущим годам исследуемого периода установлено понижение температур на 2,8 и 2,6 °С соответственно, а по отношению к среднему значению за 1945–2009 гг. – 3,8 °С. Это резкое отклонение температуры трактуется как случайное (флюктуация). В дальнейшем в юго-восточной части страны отмечается повышение температуры воздуха марта. Данные по остальной территории республики имеют простую структуру – второй выделенный временной интервал по всем административным областям оказался более чем на 2,0 °С теплее, чем первый.

Температурный режим апреля отличается значительной неоднородностью: на большей части территории страны за первым выделенным периодом 1945–1952/1953 гг. последовал непролongительный прохладный отрезок, затем – потепление. По отношению к среднему значению, рассчитанному для исследуемого интервала, повышение температуры воздуха в апреле выявлено на всей территории страны и составило в последние годы от 0,6 °С на юго-востоке до 1,2 °С на севере страны.

Ряды майских температур в основном оказались однородными, только по Брестской и Минской областям исследуемые статистические данные удалось разделить на два однородных отрезка. Результат разбиения статистических рядов показал, что первый выделенный временной интервал является более прохладным, нежели второй, на 0,8–0,9 °С. В целом же на территории страны температурный режим мая на интервале 1945–2009 гг. оказался равным или незначительно ниже многолетней климатической нормы.

В июне температурный режим административных областей в среднем соответствует климатическим нормам. В последние годы июньская температура находится на уровне среднего значения за 1945–2009 гг.

Десять последних лет характеризуются июльской температурой воздуха, превышающей среднее значение исследуемого интервала в среднем на 1,5 °С, при этом температура воздуха в эти годы превысила аналогичный показатель предыдущего временного интервала (1945–1998 гг.) на 1,7–1,9 °С.

В летний период самым неоднородным месяцем оказался август. Его температура менялась волнообразно. Исключение составила Минская область – здесь статистические данные разделились всего на два интервала. Относительно среднего значения температуры воздуха августа за 1945–2009 гг. в последние два десятилетия на основной части территории страны

отмечается повышение температур в среднем на 0,7–0,8 °С.

В сентябре в целом температурный режим оказался в пределах климатической нормы, однако в западной части страны в период с 1956 по 2004 г. выявлено снижение температуры в среднем на 1,0 °С относительно предыдущего выделенного интервала. В последние годы на всей территории республики сентябрьские температуры превысили среднее значение исследуемого интервала на 1,2–1,3 °С.

В октябре температура воздуха устойчиво повышалась, здесь не выделено временных отрезков, характеризующихся понижением значения данного показателя.

В рядах ноябрьских и декабрьских температур не удалось выделить однородные временные интервалы. По отношению к многолетней климатической норме в Брестской и Минской областях средняя температура воздуха ноября не изменилась, при этом в Минской области в последние 10 лет произошло ее значительное (на 1,7 °С) повышение относительно средней температуры воздуха предшествующего интервала 1945–1999 гг. В Витебской и Гродненской областях температура ноября повысилась на 0,2 и 0,1 °С соответственно, в Гомельской и Могилевской областях – понизилась на 0,1 °С. По отношению к многолетней климатической норме в декабре на всей территории страны отмечается потепление на 0,5–0,7 °С.

Многокомпонентный анализ. С целью получения более полного представления о происходящих на территории Беларуси температурных изменениях нами выполнен многокомпонентный анализ однородности температурных рядов, в результате которого выделены границы однородных временных интервалов, общих для шести административных областей страны (табл. 2).

В рядах январских температур выделено три единых для административных областей страны однородных периода, самым теплым из которых явился интервал с 1988 по 1994 г.; в последние пятнадцать лет (1995–2009 гг.) температура воздуха этого месяца снизилась более чем на 2,0 °С. Наибольшее снижение январских температур в последние годы по отношению к выделенному теплому интервалу (1988–1994 гг.) отмечено на западе страны: в Брестской и Гродненской областях – на 2,7 и 2,5 °С соответственно; на северо-востоке в Могилевской и Витебской областях снижение температуры составило 2,0 и 2,1 °С соответственно. Однако следует отметить, что в последние годы повсеместно зафиксировано повышение температуры января по отношению к среднему значению исследуемого интервала (1945–2009 гг.): от 1,2–1,3 °С на западе до 1,7–1,9 °С на остальной части территории страны, особенно сильно проявившееся на севере – в Витебской области.

Таблица 2. Средние значения температуры воздуха (°С) для выделенных однородных временных интервалов, общих для административных областей (1945–2009 гг.) (многокомпонентный анализ)

Месяц	Временной интервал	Административная область					
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Январь	1945–1987	-5,7	-7,8	-6,9	-6,0	-7,1	-7,8
	1988–1994	-0,7	-2,4	-1,7	-1,2	-2,0	-2,8
	1995–2009	-3,4	-4,5	-4,0	-3,7	-4,2	-4,8
	Среднее значение	-4,6	-6,4	-5,7	-5,0	-5,9	-6,6
Февраль*	—	—	—	—	—	—	—
	Среднее значение	-4,0	-6,3	-5,0	-4,6	-5,4	-6,3
Март	1945–1971	-1,1	-3,7	-1,8	-1,9	-2,6	-3,2
	1972–1988	0,4	-1,8	-0,6	-0,4	-1,0	-1,6
	1989–2009	1,8	-0,1	1,4	0,9	0,5	0,1
	Среднее значение	0,2	-2,0	-0,5	-0,6	-1,2	-1,7
Апрель	1945–1952	8,4	6,6	8,4	7,8	7,3	7,2
	1953–1958	5,4	3,4	5,5	4,6	4,2	4,3
	1959–1997	7,1	5,4	7,3	6,2	6,1	6,2
	1998–2001	10,1	8,7	10,4	9,4	9,3	9,3
	2002–2009	8,3	6,7	8,2	7,6	7,2	7,0
	Среднее значение	7,4	5,7	7,6	6,6	6,4	6,4
Май	1945–1980	12,9	11,8	13,5	12,3	12,3	12,6
	1981–1989	14,3	13,5	14,9	13,6	13,9	13,9
	1990–2009	13,6	12,1	13,9	12,7	12,8	12,7
	Среднее значение	13,3	12,1	13,8	12,6	12,7	12,8
Июнь*	—	—	—	—	—	—	—
	Среднее значение	16,6	15,8	17,2	16,0	16,0	16,5
Июль	1945–1998	17,8	17,0	18,3	17,3	17,3	17,5
	1999–2003	20,2	19,8	21,1	19,7	20,2	20,5
	2004–2009	19,2	17,9	19,4	18,4	18,4	18,3
	Среднее значение	18,1	17,3	18,6	17,5	17,7	17,8
Август	1945–1955	17,4	16,4	17,8	17,1	16,8	17,2
	1956–1990	16,7	15,7	17,1	16,3	16,2	16,3
	1991–2009	18,0	16,9	18,2	17,4	17,5	17,3
	Среднее значение	17,2	16,2	17,5	16,8	16,7	16,7
Сентябрь*	—	—	—	—	—	—	—
	Среднее значение	12,6	11,2	12,5	12,1	11,8	11,6
Октябрь	1945–1951	5,3	4,1	4,9	5,3	4,5	4,1
	1952–2003	7,1	5,8	6,8	6,7	6,3	5,7
	2004–2009	8,3	6,9	8,2	7,7	7,4	7,3
	Среднее значение	7,0	5,7	6,7	6,6	6,2	5,7
Ноябрь*	—	—	—	—	—	—	—
	Среднее значение	1,7	0,1	0,9	1,3	0,5	-0,1
Декабрь*	—	—	—	—	—	—	—
	Среднее значение	-2,3	-4,1	-3,1	-2,7	-3,5	-4,2
Год	1945–1988	6,6	5,0	6,3	6,1	5,4	5,4
	1989–2009	7,7	6,3	7,5	7,1	6,9	6,5
	Среднее значение	6,9	5,4	6,7	6,4	5,8	5,7

* Ряды не делятся.

В рядах температур февраля шести административных областей страны, также, как и при однокомпонентном анализе, не удалось выделить общие границы однородных временных интервалов. При этом в целом средние значения, характеризующие температурный режим февраля, повысились на 0,5–0,7 °С по отношению к многолетним климатическим нормам.

В марте потепление началось с 1972 г. По сравнению с первыми 27 годами (1945–1971 гг.) исследуемого интервала на временном отрезке 1972–1988 гг. произошло повышение температу-

ры в среднем на 1,5 °С, примерно такое же увеличение мартовских температур выявлено и в последующие годы. Температура воздуха марта в период современного потепления повысилась относительно среднего значения температурного показателя на исследуемом временном интервале в среднем на 1,7 °С.

Температурные ряды данных апреля оказались неоднородными, что полностью совпадает с результатами однокомпонентного анализа. Самыми теплыми годами были годы в интервале 1998–2001 гг., однако, возможно, данное отколо-

нение от среднего значения является случайным (флюктуацией). В последние годы на всей территории страны зафиксировано потепление атмосферного воздуха относительно среднего значения за весь исследуемый период, особенно проявившееся на юге страны.

Средние температуры мая на временном интервале с 1945 по 2009 г. равны или даже на 0,1–0,2 °C ниже многолетних климатических норм; теплее всего в мае на юго-востоке в Гомельском Полесье (+13,8 °C). В последние три десятилетия средние температуры мая повысились относительно периода 1945–1980 гг. от 0,5 до 0,9 °C (в Брестской области – на 0,9 °C, Витебской, Гомельской и Гродненской областях – на 0,7, в Минской области – на 0,8, в Могилевской области – на 0,5 °C). Самым теплым интервалом относительно майских температур оказался период 1981–1989 гг., в дальнейшем потепление стало менее значительным.

Июньские температуры на исследуемом интервале повысились незначительно. Ряды данных при выполнении многокомпонентного анализа не удалось разделить на однородные временные интервалы.

В *июле* повышение температуры воздуха наблюдалось с 1945 до 2003 г. включительно, затем наступило некоторое понижение значений температурного показателя. Наверное, «всплеск» температуры июля в 1999–2003 гг. явился флюктуацией и можно в целом констатировать повышение температуры воздуха этого месяца.

В рядах температур *августа* выделено три временных интервала, в среднем из которых (1956–1990 гг.) температура воздуха ниже, чем отмеченная ранее и позже. Начиная с 1991 г. температура повысилась относительно среднего значения примерно на 0,7 °C.

Таким образом, в последние годы отмечается повышение температурного режима во второй половине летнего сезона.

В рядах температур *сентября* при многокомпонентном анализе не удалось выделить общие границы однородных интервалов. В целом температурный режим оказался в пределах климатической нормы, при этом однокомпонентный анализ относительно сентябрьских температур показал, что практически на всей территории страны присутствует граница 2003/2004 г., после которой зафиксировано потепление, превышающее на 1,0 °C среднее значение на всем исследуемом интервале.

В *октябре* выделены границы реперов 1951 и 2003 гг., свидетельствующие о поступательном повышении температуры воздуха. Однако первый выделенный временной отрезок (1945–1951 гг.) оказался холодным с температурами ниже на 1,6 °C относительно средних значений на всем исследуемом интервале. В последние 6 лет, начиная с 2004 г., отмечено потепление

примерно на 1,3 °C относительно среднестатистических значений на исследуемом временном интервале.

Ряды температур *ноября* и *декабря* не удалось разбить на общие для всех областей однородные временные отрезки, что согласуется с результатами однокомпонентного анализа, выполненного на уровне отдельных административных областей, и свидетельствует о статистической однородности данных рядов. В ноябре температура оказалась в пределах климатической нормы, а в декабре на всей территории страны отмечается потепление на 0,5–0,7 °C.

Дополнительно нами выполнены расчеты (многокомпонентный анализ) относительно среднегодовых температур. Здесь на рассматриваемом временном интервале современное потепление климата Беларуси проявилось как безусловный факт. Для административных областей выделено два общих однородных отрезка: 1945–1988 и 1989–2009 гг., второй из которых оказался теплее первого в среднем на 1,2 °C, при этом самое значительное повышение среднегодовых температур (на 1,5 °C) выявлено для Минской области. Таким образом, в целом потепление четко выделяется по границе 1988 г., т. е. период потепления на территории Беларуси начинается с 1989 г.

Учитывая факт наличия выделенной ранее [5, 6] и подтвержденной в данном исследовании временной границы потепления в Беларуси, в табл. 3 представим значения отклонений среднемесячных температур воздуха за период 1989–2009 гг. от многолетних климатических норм (1891–1990 гг.) или, правильнее, – от средних температурных значений лет, предшествующих современному потеплению.

Исходя из материалов табл. 1–3, можно сделать вывод, что современное потепление климата Беларуси наиболее выражено в январе–апреле, несколько менее значительно в июле, августе и декабре, слабо выражено в остальные месяцы.

При этом следует выделить особенности изменения температурного режима отдельных месяцев. Так, на исследуемом временном интервале (1945–2009 гг.) повсеместно зафиксировано повышение температуры воздуха в январе по отношению к среднестатистическому значению, причем в период с 1995 по 2009 г. потепление оказалось менее интенсивным, чем в предыдущие годы.

Весной отмечается неоднозначная ситуация: в первые весенние месяцы – потепление, в мае температурный режим на интервале 1945–2009 гг. оказался равным или незначительно ниже многолетней климатической нормы.

В последние годы наблюдается повышение температурного режима во второй половине летнего сезона.

Таблица 3. Значения отклонений среднемесячных температур воздуха за период 1989–2009 гг. от многолетних климатических норм (1891–1990 гг.)

Область	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Брестская	2,9	2,4	2,2	1,5	0,2	0,3	0,8	0,9	0,0	0,4	0,2	0,6
Витебская	3,7	2,7	2,5	2,0	0,1	0,2	0,6	0,7	0,4	0,6	0,3	1,1
Гомельская	3,4	2,8	2,5	1,9	0,1	0,4	1,1	1,0	0,3	0,7	0,1	0,8
Гродненская	2,8	2,5	2,0	1,7	0,1	0,1	0,7	0,9	0,2	0,3	0,1	0,8
Минская	3,3	2,6	2,3	1,9	0,1	0,3	0,8	1,1	0,4	0,6	0,2	0,9
Могилевская	3,5	2,6	2,5	1,7	-0,2	0,0	0,4	0,6	0,2	0,4	0,0	0,9

В ранее выполненнном исследовании [5, 6] было установлено, что в ноябре – декабре потепление переходит в слабовыраженное похолодание. Однако происходящие современные температурные изменения свидетельствуют о том, что и эти месяцы в последние годы отмечается положительная тенденция.

Таким образом, нами представлены результаты детального исследования изменения

температурного режима Беларуси, выполненного по среднемесячным и среднегодовым статистическим данным как на уровне отдельных областей, так и страны в целом. Выявлены временные интервалы с одинаковой тенденцией в межгодовых колебаниях температуры атмосферного воздуха.

Литература

1. Логинов В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск, 2008.
2. Логинов В. Ф. Изменения климата в Беларуси и их последствия для ключевых секторов экономики (сельское, лесное и водное хозяйство). Минск, 2010.
3. Родионов Д. А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., 1968.
4. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / Под ред. Н. В. Кобышевой. СПб, 2008.
5. Сачок Г. И., Камышенко Г. А. Однородность рядов температуры воздуха и атмосферных осадков в Белоруссии в условиях потепления климата // Известия РАН. Сер. географическая. М., 2006. № 6. С. 48–60.
6. Сачок Г. И., Камышенко Г. А. Факторы и модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2006.
7. Сачок Г. И. Пространственно-временная структура гидрометеорологического режима Белоруссии и прилегающих регионов. Минск, 1980.

Институт природопользования НАН Беларусь

Поступила в редакцию 20.07.2011

Г. А. Камышенко

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОДНОРОДНОСТИ РЯДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА БЕЛАРУСИ

В статье представлены результаты исследования современной территориально-временной изменчивости температурного режима Беларуси на областном и региональном уровнях за период 1945–2009 гг. Помощью оригинального программного комплекса реализован однокомпонентный и многокомпонентный анализ, что позволило выявить однородные временные интервалы в рядах статистических данных температуры воздуха как конкретных административных областей, так и комплекса шести областей Беларуси.

Выполнена развернутая количественная оценка современных температурных изменений, выделены особенности температурного режима отдельных месяцев. Сделано заключение, что современное потепление климата Беларуси наиболее выражено в январе – апреле, несколько менее значительно в июле, августе и декабре, слабо проявляется в остальные месяцы. Установлены характер-

ные особенности современного изменения температурного режима. Наблюдавшийся в период с 1988 по 1994 г. интенсивный рост температуры воздуха января в последние годы несколько замедлился. Выявлено устойчивое повышение температурного режима во второй половине летнего сезона.

Результаты исследования перспективны для использования при планировании развития растениеводства с учетом изменяющихся погодно-климатических условий территории Беларуси.

G. A. Kamyshenko

**ESTIMATION OF EXISTENTIAL UNIFORMITY
OF BELARUS AIR TEMPERATURE NUMBERS**

In article, results of research of modern territory-time variability of temperature mode of Belarus at regional and district levels for 1945–2009 are presented. By means of original program complex the uni-component and multi-component analysis has been realized that has allowed to reveal homogeneous time intervals in the series of statistical air temperature data of both concrete administrative areas and a complex of six areas of Belarus.

The developed quantitative estimation of modern temperature changes has been done, features of temperature mode of separate months have been marked. The conclusion has been made, that modern Belarus climate warming is most exhibited in January – April, a little less evident in July, August and December, poorly shown in other months. Specific features of modern change of temperature mode were found. The observed during the period 1988 to 1994 intensive air temperature rise in January slowed down a little within last years. Steady increase of temperature mode in second half of summer season was revealed.

The research results are perspective for use in planning a development of plant growing taking into account varying weather-climatic conditions of Belarus territory.

УДК 631.432; 502.4; 502.7; 550.34; 556.332 (476)

О. Г. Савич-Шемет

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ

В работе выполнен анализ многолетних колебаний величины атмосферных осадков, в том числе методами прикладной теории функций, за период инструментальных наблюдений на территории Беловежской Пущи и близлежащих метеорологических станций и постов (2 станции, 6 постов). Исследована пространственно-временная структура полей жидких атмосферных осадков на территории Национального парка. Выполнено картирование результатов анализа полей климатических характеристик исследуемого района. Оценена обусловленность режима атмосферных осадков природными процессами.

Количество атмосферных осадков является одним из наиболее изменчивых элементов климата на земном шаре. Колебания осадков представляют собой один из важнейших объектов изучения, так как отражаются на всем режиме увлажнения. Исследование пространственной структуры полей осадков важно при решении различных прикладных задач вследствие существования объективной связи функциональной и пространственно-временной структур влагооборота на суше.

С накоплением массивов данных для территории назрела необходимость изучения региональных мезомасштабных пространственных особенностей структуры атмосферных осадков.

Атмосферные осадки Беловежской Пущи и прилегающей территории до недавнего времени изучались по данным отдельных близлежащих метеорологических станций. Основными исходными материалами для работы послужили данные Республиканского гидрометеорологического центра Минприроды РБ: многолетние наблюдения за величиной атмосферных осадков (среднемесячные, максимальные наблюденные) проводятся на ближайших к Беловежской пуще метеорологических станциях – г. Волковыск, г.п. Пружаны и постах – г.п. Рудня, Кобрин, М. Радванич, Береза, Ружаны, М. Жабинка.

Периоды наблюдений за величиной атмосферных осадков на постах территории Беловежской пущи следующие: п. Рудня – 1958–1986 гг., г.п. Кобрин – 1945–1985, п. М. Радванич – 1977–2010, г.п. Береза – 1977–2010, г.п. Ружаны – 1964–1987, п. М. Жабинка – 1948–1986 гг.

Исследования пространственной статистической структуры полей осадков базируется на применении статистических характеристик случайных полей – структурных, ковариационных и корреляционных функций [1, 4, 5]. Пространственная корреляционная функция (ПКФ) выражает уменьшение тесноты корреляционных связей осадков с увеличением расстояния между точками поля, а зависимость этой функции только от

одного скалярного аргумента – расстояния между точками измерений – существенно облегчает ее применение в расчетах [1].

Вычисление корреляционной функции полей сумм осадков проведено по следующей формуле:

$$r = \frac{\sum (x_a - \bar{x})(x_b - \bar{x}) + n\bar{x}^2}{\sqrt{\sum [(x_a - \bar{x})^2 + n\bar{x}^2] \sum [(x_b - \bar{x})^2 + n\bar{x}^2]}}, \quad (1)$$

где x_a и x_b – значения величины атмосферных осадков в точках a и b ; \bar{x} – среднее значение на данной станции или посту за данный месяц конкретного года.

Для характеристики многолетней изменчивости увлажнения исследуемой территории рассчитаны временные ряды индексов аридности де-Мартона за период инструментальных наблюдений.

Индекс де-Мартона вычислялся по формуле [5]

$$I_M = \frac{R}{t+10}, \quad (2)$$

где R – количество осадков за год, мм; t – среднегодовая температура, °C.

Результаты анализа пространственной структуры атмосферных осадков картированы интерполяционным методом триангуляции с применением линейной интерполяции. Исходные точки данных соединяются таким образом, что результирующая поверхность представляет собой грани треугольников. При этом ни одна из сторон треугольника не пересекается со сторонами других треугольников и каждый треугольник определяется тремя исходными экспериментальными точками (рис. 1). Значения функции в узлах регулярной сети, попадающих внутрь этого треугольника, принадлежат плоскости, проходящей через вершины треугольника.



Рис. 1. Визуализация алгоритма триангуляции с применением линейного метода интерполяции

Расстояние любой изогипсы от одной из точек с заданным значением картируемой величины (z) на данной линии при линейной интерполяции найдено по формуле

$$L_x = \frac{H_x - H_1}{H_2 - H_1} \cdot l_{1,2}, \quad (3)$$

где L_x – расстояние от искомой изолинии до точки 1 на линии, соединяющей точки 1 и 2, H_x – значение (z) искомой изолинии; H_1 и H_2 – значения картируемой поверхности соответственно в точках 1 и 2, $l_{1,2}$ – расстояние между точками 1 и 2.

Анализ временной структуры рядов атмосферных осадков проведен методами прикладной теории функций. Временные ряды представлялись в виде суммы детерминированного тренда $y(t)$, гармонической $g(t)$ и случайной составляющих $z(t)$ как

$$x(t) = y(t) + g(t) + z(t). \quad (4)$$

Наиболее корректно задача обнаружения гармонических составляющих может быть решена применением классического гармонического анализа путем разложения функции $g(t)$ на простейшие периодические составляющие. Исходя из принципов математического анализа, любую функцию можно представить бесконечным рядом синусоидальных и косинусоидальных функций (рядом Фурье). Полную сумму, задающую переменную $g(t)$, записываем в виде [2]

$$g(t) = \bar{g} + \sum_{i=1}^{n/2} \left[A_i \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{P} \cdot i \cdot t\right) + B_i \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{P} \cdot i \cdot t\right) \right], \quad (5)$$

где A_i и B_i – коэффициенты Фурье-разложения i -й циклической компоненты.

Коэффициенты A_i и B_i ряда вычислены независимо по следующим формулам:

$$A_i = \frac{2}{n} \cdot \sum_{t=1}^n g(t) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{P} \cdot i \cdot t\right); \quad (6)$$

$$B_i = \frac{2}{n} \cdot \sum_{t=1}^n g(t) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{P} \cdot i \cdot t\right), \quad (7)$$

где i – может иметь любое целое значение от 1 до $n/2 - 1$. Для последней гармоники $A_n = 0$, B_n равно величине, получаемой из (7), деленной на 2, т. е. $B_n/2$.

Рассчитаны значения амплитуды i -й циклической компоненты:

$$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}. \quad (8)$$

Каждая гармоника учитывает некоторую часть полной дисперсии σ^2 . Дисперсия, выбираемая i -й гармоникой, равна $\sigma_i = \frac{C_i^2}{2}$ для всех гармоник, за исключением последней, для которой она равна C_i^2 . Часть дисперсии, учитываемая i -й гармоникой, может быть представлена в виде отношения величины $\frac{C_i^2}{2}$ или C_i^2 к полной дисперсии σ^2 . Поскольку никакие две гармоники не будут учитывать одну и ту же часть дисперсии, то дисперсии, учитываемые различными гармониками, можно складывать.

Результаты гармонического анализа временного ряда существенно искажаются из-за влияния тренда данного ряда (появляется разброс учитываемой дисперсии по гармоникам в области низких частот) [3], поэтому проведению гармонического анализа предшествовала процедура определения наличия тренда временного ряда. Для того был использован метод проверки разностей средних уровней.

Среднемноголетний внутригодовой ход величины атмосферных осадков на метеорологических постах и станциях Беловежской Пущи приведен на рис. 2.

Результаты вычисления ПКФ приведены на рис. 3, 4. Территория Беловежской Пущи относится к зоне избыточного увлажнения, характеризующейся частым выпадением фронтальных осадков обложного типа. В этой связи месячные суммы осадков падают с расстоянием незначительно (рис. 4).

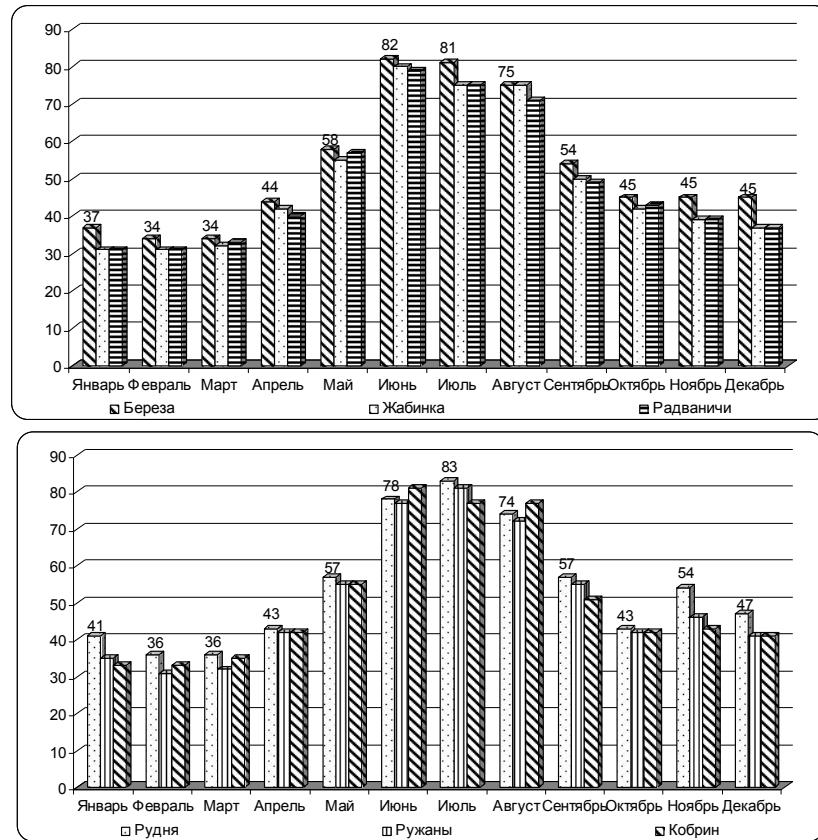


Рис. 2. Среднемноголетний внутригодовой ход величины атмосферных осадков на постах и метеостанциях Беловежской Пущи

a		б						
Рудня				Рудня				
Кобрин	76	Кобрин		Кобрин	0,88	Кобрин	0,84	
Радваничи	92	31	Радваничи		Радваничи	0,75	Радваничи	0,78
Береза	75	55	Береза		Береза	0,79	Береза	0,92
Ружаны	60	84	Ружаны		Ружаны	0,80	Ружаны	0,91
Жабинка	73	23	Жабинка		Жабинка	0,84	Жабинка	0,82
Пружаны	42	38	Пружаны		Пружаны	0,85	Пружаны	0,86
Волковыск	45	107	Волковыск		Волковыск	0,87	Волковыск	0,89
	134	80		113	48	0,88	0,84	
						0,73	0,83	
						0,73	0,85	
						0,73	0,83	

Рис. 3. Расчет ПКФ: **а** – расстояние между постами и метеостанциями, м; **б** – коэффициент корреляции

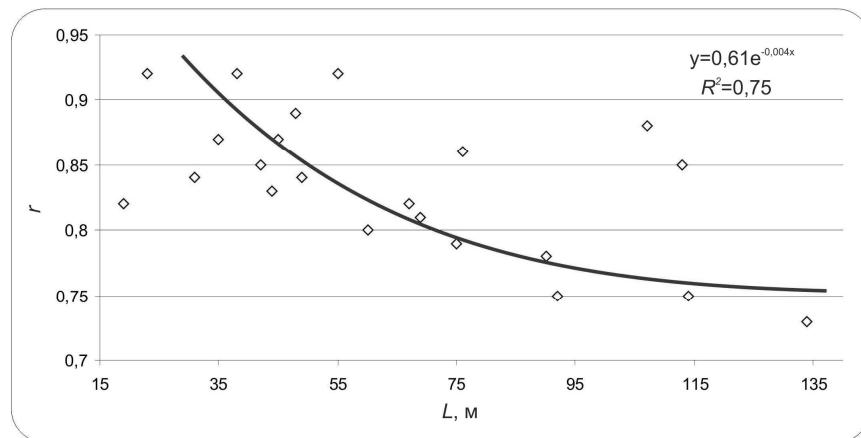


Рис. 4. Пространственная корреляционная функция месячных сумм осадков

Теснота связи, ее наличие и поведение, не зависит от оцениваемого периода (теплый, холодный), что объясняется генезисом происхождения осадков изучаемой территории.

Вычисленные значения ПКФ позволяют выполнить картирование некоторых элементов статистической структуры значений величины атмосферных осадков по временным рядам наблюдений (рис. 5–7). Суммарное количество осадков за теплый период варьирует на изучаемой территории от 391 до 499 мм, за холодный – от 170 до 214, за год – от 563 до 649 мм, индекс де-Мартона – от 33,3 до 38,4. Максимально наблюденные значения за июль варьируются от 42,4 мм (Рудня) до 103,0 (М. Радваничи), за год – от 58,9 мм (Береза) до 103,0 (М. Радваничи).

Пост г.п. Рудня характеризуется повышенными значениями среднемноголетних величин атмосферных осадков, что обусловлено его расположением (непосредственно в лесистой части Беловежской пущи). Посты и метеостанции, расположенные в распаханных и хозяйственно ос-

военных зонах характеризуются пониженными значениями.

Результаты определения наличия тренда и части дисперсии временного ряда, выбираемой динамической нормой ряда временных рядов наблюдений за величиной атмосферных осадков на метеопостах и метеостанциях не выявили наличие статистически значимой трендовой составляющей в этих рядах.

Далее был проведен гармонический анализ временных рядов наблюдений за величиной атмосферных осадков. В зависимости от длины ряда наблюдений, согласно (6) и (7), составлена таблица множителей (A_i, B_i). Произведения значений отклонений временного ряда от динамической нормы и соответствующих множителей (A_i, B_i) в столбцах суммировались. Суммы по столбцам представляют собой коэффициенты Фурье. В соответствии с (8) определена амплитуда C_i и вычислена доля дисперсии, выбираемая i -й гармоникой.

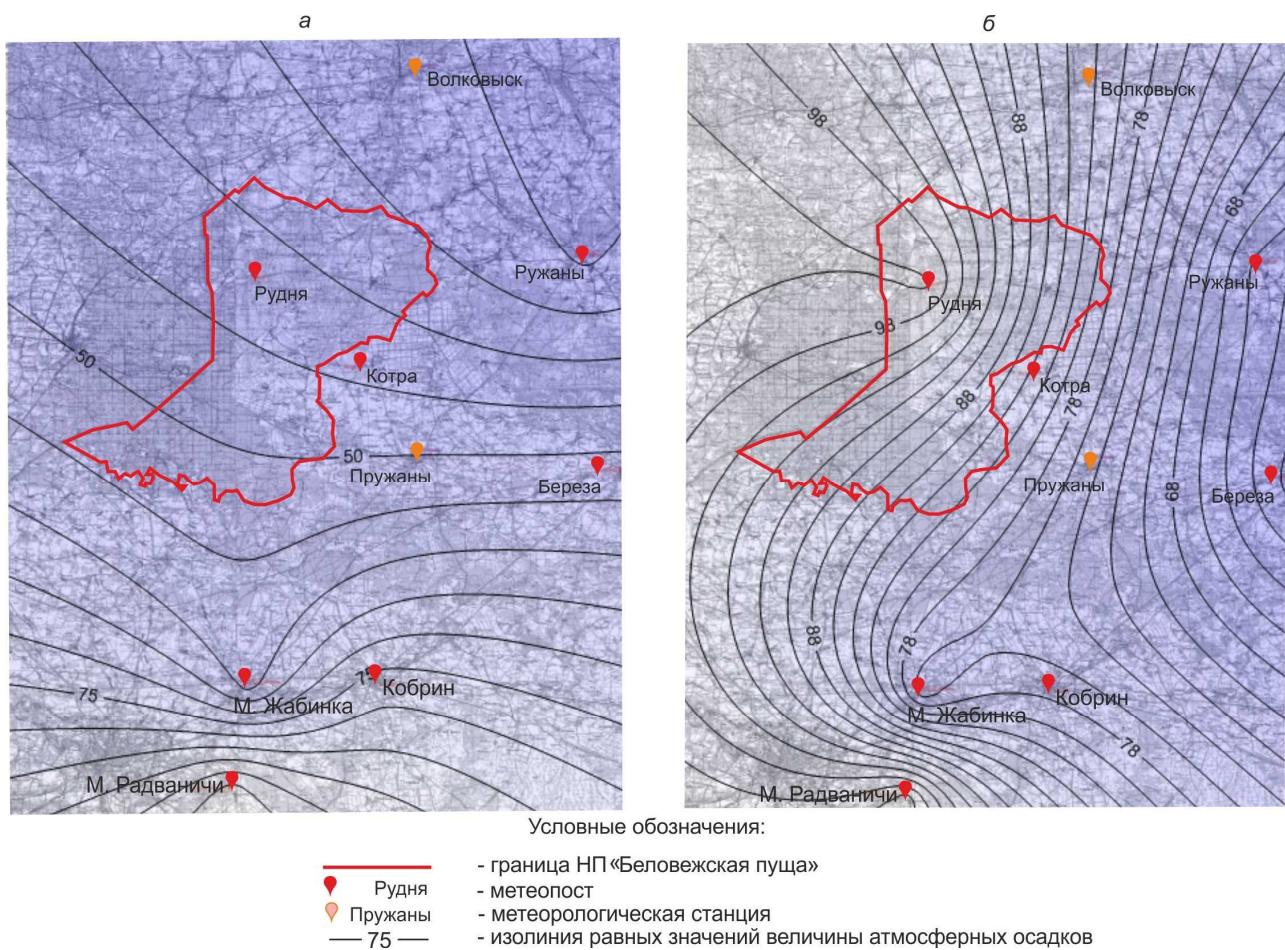


Рис. 5. Пространственное распределение максимальных значений величины атмосферных осадков: а – в июле, мм; б – за год, мм

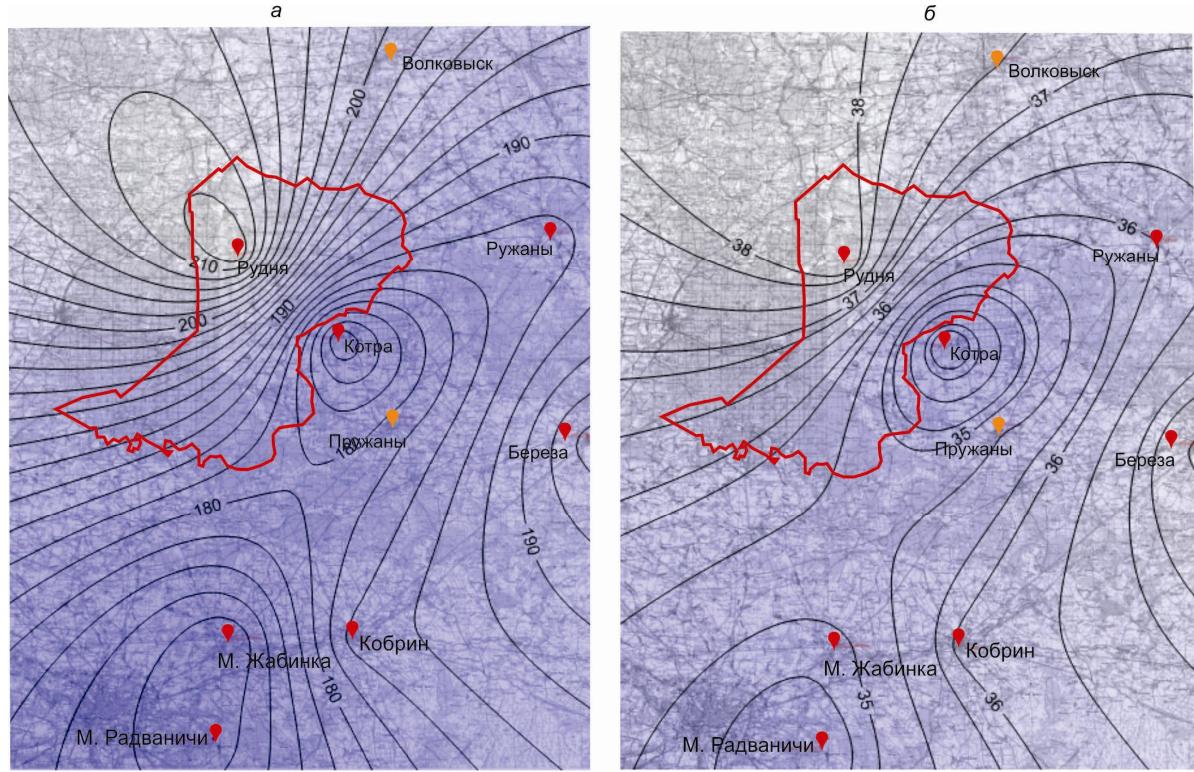


Рис. 6. Пространственное распределение среднемноголетних сумм осадков за холодный период, мм (а) и индекса аридности де-Мартона (б). Условн. обозн. см. рис. 5

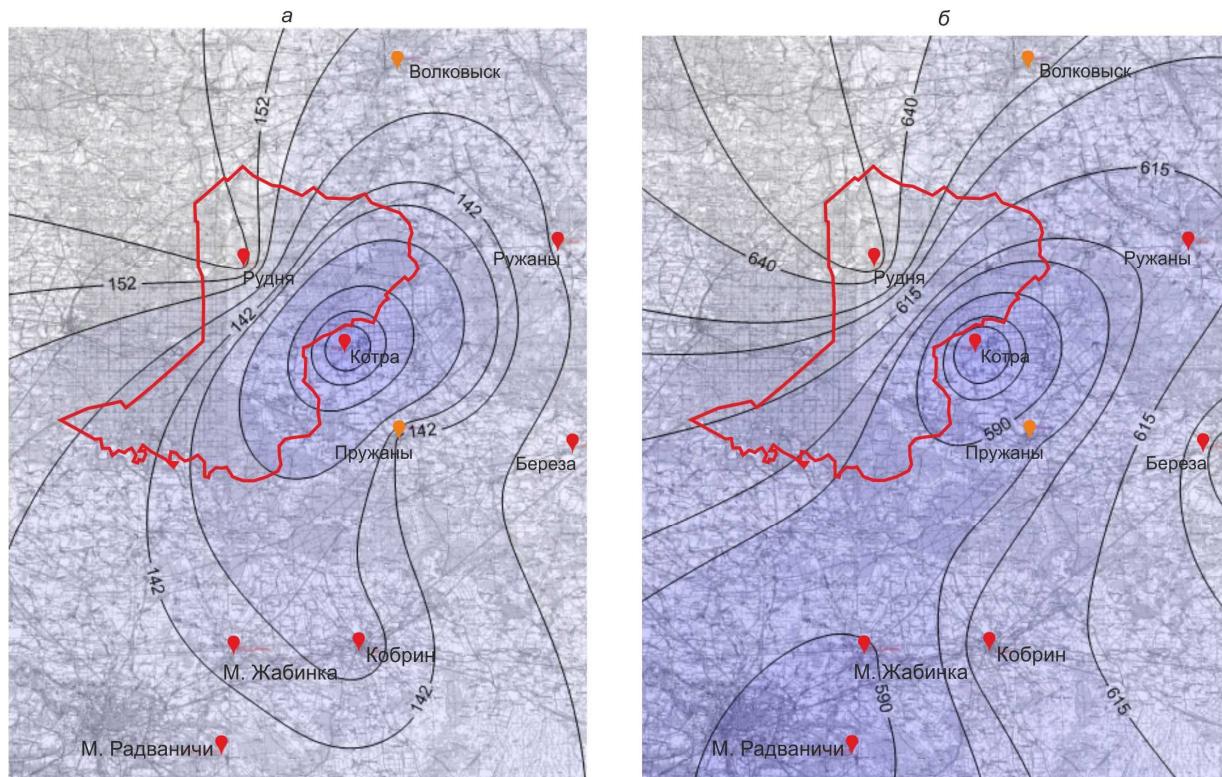


Рис. 7. Пространственное распределение норм осадков, мм (а) и среднегодовых сумм осадков за год, мм (б). Условн. обозн. см. рис. 5

Проведенный гармонический анализ наблюдений за величиной атмосферных осадков на метеопостах и метеостанциях территории Беловежской Пущи позволил обнаружить две гармонические составляющие. Годовая гармоника (~12 мес.) выбирает значительную часть дисперсии в рядах наблюдений (25–40 %). Часть дисперсии, выбирамая 2–3-летней гармоникой года не превышает 9 %. Обусловленность последней гармоники определяется короткопериодными колебаниями общей циркуляции атмосферы.

Таким образом, анализ поведения ПКФ показал характерные пространственные изменения для зоны избыточного увлажнения. Национальный парк и прилегающие районы характеризуются частым выпадением фронтальных осадков обложного типа, распространяющихся на значи-

тельные площади. При этом очевидна роль подстилающей поверхности в изменении осадков (лес, пашня). Так, для поста г.п. Рудня характерны повышенные значения среднемноголетних величин атмосферных осадков, что обусловлено его непосредственным расположением в лесистой части Беловежской Пущи.

Общая картина пространственного распределения максимально наблюденных значений величины атмосферных осадков показало их увеличение с северо-востока на юг-запад в июле и с юго-востока на северо-запад в годовом разрезе. Величина суммы атмосферных осадков за холодный период, норма и индекс аридности де-Мартона также увеличивается с юго-востока на северо-запад по территории Беловежской Пущи.

Литература

1. Алибегова Ж. Д. Пространственно-временная структура полей жидких осадков. Л., 1985.
2. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. В. Ф. Писаренко. М., 1971.
3. Логинов В. Ф., Волчек А. А., Шведовский П. В. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов. Брест, 2004.
4. Поляк И. И. Методы анализа случайных процессов и полей в климатологии. Л., 1979.
5. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. М., 1969.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 12.09.2011

O. G. Savich-Shemet

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ

В работе впервые проведены исследования пространственно-временной структуры жидких атмосферных осадков на территории Беловежской Пущи с использованием данных по двум близрасположенным метеостанциям и шести постам. С накоплением массивов данных по указанной территории назрела необходимость изучения региональных мезомасштабных пространственных особенностей изменений атмосферных осадков.

В работе исследована пространственно-временная структура полей жидких атмосферных осадков на территории Национального парка. Выполнено картирование результатов анализа полей климатических характеристик исследуемого района. Оценена обусловленность режима атмосферных осадков природными процессами.

O. G. Savich-Shemet

SPATIAL-TIME STRUCTURE OF MANY YEARS OSCILLATIONS OF LIQUID ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN TERRITORY OF THE BELOVEZHSKAYA DENSE FOREST

In the work researches of spatial-time structure of liquid atmospheric precipitation for the first time are carried out in territory of the Belovezhskaya Dense forest with use of data of two closely located meteorological stations and six posts. With accumulation of data files on the specified territory the necessity to study regional mesoscale spatial features of changes of atmospheric precipitation has appeared.

In this work the spatial-time structure of fields of a liquid atmospheric precipitation in territory of National park is investigated. The mapping of results of the analysis of fields of climatic characteristics of investigated area has been done. Conditionality of a mode of atmospheric precipitation by natural processes has been estimated.

УДК 551.4 (476)

Л. А. Нечипоренко

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДНЕПРА (НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ)

Исследованы особенности трех классов современных геологических процессов: экзогенных (плоскостной смыв, эрозия линейных водотоков, супфозия, карст, обвалы и осыпи, дефляция, накопление торфа); эндогенных (сейсмичность, вертикальные и горизонтальные движения земной коры) и техногенных (перемещение грунтов при вспашке, строительстве дорог, добыче полезных ископаемых, возведении инженерных сооружений). Установлено, что скорость (интенсивность) проявления отдельных видов современной геодинамики заметно варьирует по площади и на некоторых участках достигает величин, при которых преобразование земной поверхности и покровных отложений может наносить экономический ущерб.

Выполненные ранее исследования [6, 7, 9], дополненные крупномасштабными работами по ряду районов в бассейне Днепра показали, что современная земная поверхность испытывает здесь воздействие различных природных и техногенных геологических процессов (рисунок). Несмотря на то, что эта территория приурочена к древней Восточно-Европейской платформе и имеет в основном равнинный характер, интенсивность преобразующих ее процессов в ряде случаев достигает значительных величин и сильно варьирует по площади.

Геологические процессы по основному источнику энергии подразделяются на три класса: экзогенный, эндогенный и техногенный (антропогенный). При нижеуказанной характеристики проявлений современной геодинамики основное внимание уделено только тем процессам, которые играют наиболее существенную роль в преобразовании земной поверхности и переносе вещества.

Экзогенные процессы. К данному классу на изученной территории относятся: плоскостной смыв; эрозионная и аккумулятивная деятельность рек и временных водотоков; супфозия; карст; гравитационные; эоловые и биогенные процессы.

Плоскостной (делювиальный) смыв. Он является одним из наиболее распространенных геологических процессов, интенсивность которого варьирует в интервале от 0 до 4–5 мм/г., единично на Оршанской возвышенности, в пределах Горецкой и Могилевской равнин, – до 8,8–10,4 мм/г. Следует особо подчеркнуть, что при сносе до 2 мм/г. процессы компенсируются за счет почвообразования.

Более высокая интенсивность делювиального перемещения материала влияет на перестройку земной поверхности, может способствовать накоплению вредных выбросов у подножий склонов, вызывать заилижение водоемов и водотоков. Площади с повышенными значениями плоскостного смыва (более 2 мм/г.) приурочены в основном к северной части района, севернее широты г. Чаусы. Наиболее крупные участки интенсивных делювиальных процессов выделены между гг. Могилев и Чаусы, севернее Кричева – в правобережье р. Сож, в районе Мстиславля, в междуречье Днепра и Прони, Днепра и Друти,

между гг. Дубровно и Горки и др. На всех этих территориях накопились склоновые шлейфы мощностью 0,8–1,2 м. Минимальные значения интенсивности делювиальных процессов тяготеют к выпущенным поверхностям с углами наклона не более 1–2°.

Эрозионная и аккумулятивная деятельность рек. По грандиозности созданных форм рельефа деятельность постоянных линейных водотоков один из самых активных современных геологических процессов. Итогом этой деятельности является густая сеть речных долин. Конкретные представления о размерах образованных форм и объемах аллювиальных отложений на территории района могут быть получены при рассмотрении параметров наиболее крупных долин Днепра, Березины и Сожа.

Из опубликованных данных [2, 3, 7, 14] следует, что долина Днепра имеет в Беларуси длину 700 км, большая часть которой приходится на территорию района. Врез водотока на верхнем участке (севернее Шклова) при выработке поймы составил 15–25 м, ниже по течению – 25–30 м (иногда до 35 м). Мощность пойменного аллювия колеблется от 10–12 м выше Шклова до 15–20 м на остальной части долины. Общий объем эродированных отложений достигает примерно $70 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, а накопленного аллювия – $52,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.

Долина Сожа тянется в границах страны на 493 км, и основная часть ее находится в пределах района исследований. Пойменный врез достиг 12–25 м, причем большие значения характерны для низовий. Ширина сформированной за голоценовое время террасы также возрастает вниз по течению от 1–2 км до 5–6 км. Мощность аллювия в среднем 8–10 м (до 15 м). Общий объем эродированных отложений составляет примерно $31 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, в пойме накопилось около $19 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ аллювия. Остальные реки имеют меньшие параметры пойменных долин, но тем не менее эффект их геологической деятельности весьма значителен, так как общее количество водотоков достаточно велико, суммарный объем эродированного ими материала и отложенного аллювия сопоставимы с приведенными выше данными для крупных водотоков.

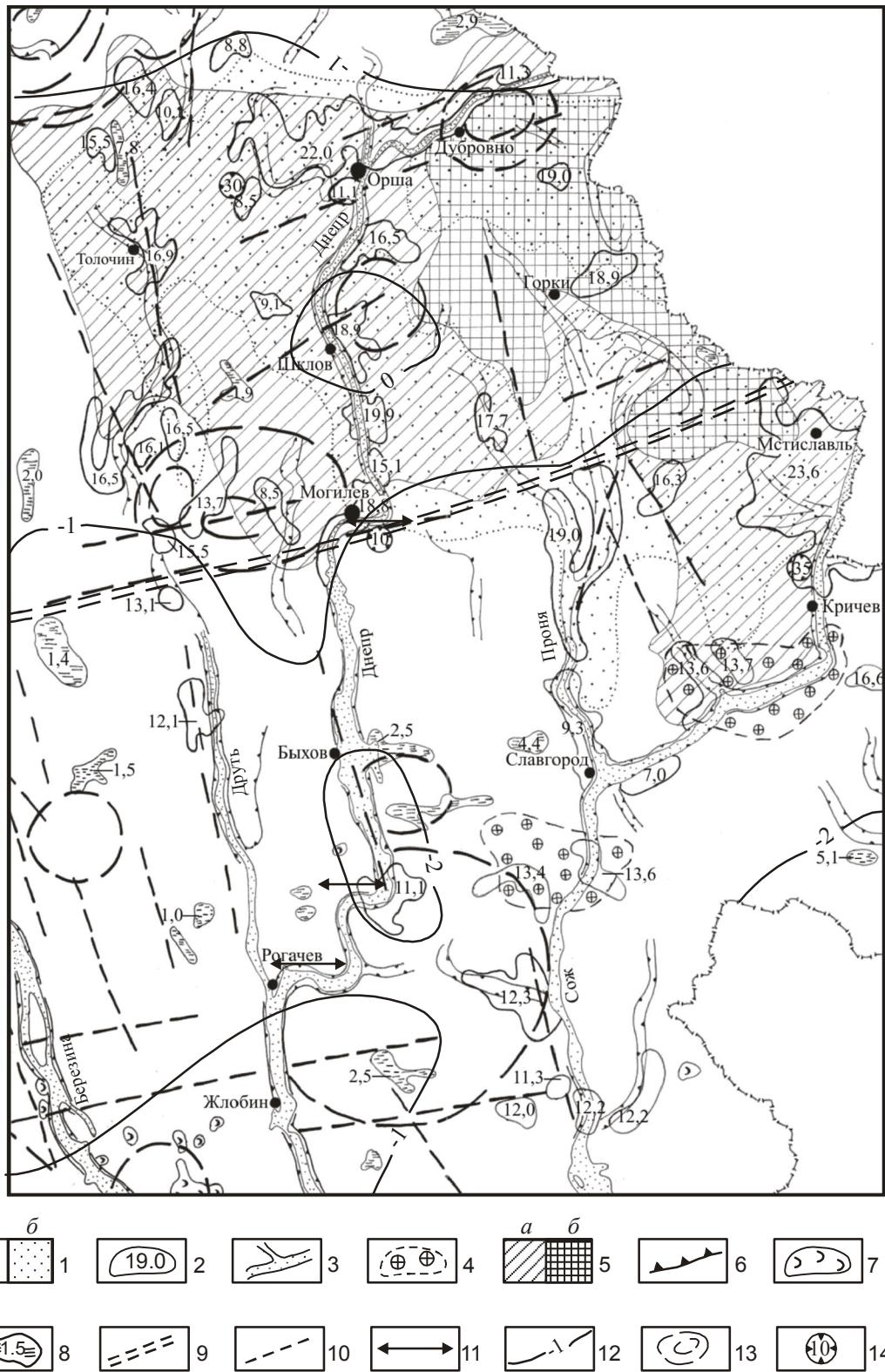


Рис. 1. Карта-схема проявления современных геологических процессов:

1 – плоскостной смыв (мм/г.): а – менее 2, б – 2–5; 2 – эрозия линейных водотоков в баллах (возможные пределы колебания 6–24); 3 – эрозионно-аккумулятивные процессы в речных долинах; 4 – карстовые процессы; 5 – суффозионные процессы (плотность форм, ед./км²): а – менее 10, б – 10–30; 6 – обвалочно-осыпные и оползневые процессы; 7 – золовые процессы; 8 – накопление торфа (м); 9 – сейсмогенная зона; 10 – линейные нарушения, выраженные в строении земной поверхности, характеризующиеся высокими градиентами вертикальных движений земной коры; 11 – участки горизонтальных перемещений земной коры; 12 – изолинии скоростей вертикальных движений земной коры (мм/г.); 13 – кольцевые структуры; 14 – техногенные выработки (глубина форм, м)

Деятельность рек сравнительно равномерно проявляется на всей территории региона. В качестве одного из показателей интенсивности аллювиальных процессов можно использовать коэффициент горизонтального расчленения рельефа. Среднее значение такого показателя составляет около $0,4 \text{ км}/\text{км}^2$ (при колебаниях от $0,25$ до $1,75 \text{ км}/\text{км}^2$).

В целом реками за пределы изученной территории ежегодно выносится значительное количество веществ в растворенном и взвешенном состоянии, что дает величину среднегодовой денудации поверхности около $0,03 \text{ мм}$. Если же рассчитывать, исходя из приведенных выше данных, среднее значение этого показателя за позднеледниковое и голоценовое время, то получится $0,05 \text{ мм}/\text{г.}$, что вполне согласуется с характером палеогеографических особенностей региона, так как в конце позерского этапа и в начале голоцена эрозионные процессы были интенсивнее современных из-за особенностей климата, растительности, а возможно, и из-за своеобразия тектонических процессов.

Наконец, описывая эффект деятельности рек, следует особо отметить катастрофические наводнения и паводки, т.е. такие фазы гидрологического режима, при которых происходит резкий подъем уровней вод, что приводит к затоплению и подтоплению огромных площадей, переносу и осаждению значительных объемов аллювиальных отложений, которые могут накапливаться не только на низкой пойме, но и на более высоких гипсометрических уровнях.

В бассейне Днепра эти подъемы достигают $3,5$ – 4 м при максимальных значениях до 5 – $5,5 \text{ м}$ в районе Орша – Быхов [2]. Во время половодий затапливаются территории вдоль рек шириной до 2 – 3 км , глубина затопления поймы $0,5$ – $0,8 \text{ м}$.

Линейная эрозия временных водотоков. В бассейне Днепра рассматриваемый тип процессов развит довольно широко. Здесь сформировалась густая сеть оврагов и балок, из которых около 10 – 15% активно развивается в настоящее время [13]. Помимо оврагов и балок деятельность временных линейных водотоков приводит к появлению многочисленных промоин. Длина промоин измеряется десятками метров (до 100 м), глубина до $1,5 \text{ м}$. Овраги обычно имеют протяженность в несколько сотен метров (до 1500 м), а их глубина варьирует чаще всего в интервале 5 – 20 м . Балки имеют более крупные размеры: длина до 2 – 3 км , глубина 20 – 30 м .

Особенно широко линейная эрозия проявляется в пределах Оршанской возвышенности, а также на значительных площадях Могилевской и Горецкой равнин. По степени расчлененности земной поверхности оврагами и балками выделяются склоны долин Днепра (практически на всем протяжении), Прони, Сожа (выше г. Чечерска), Друти (от д. Осман-Касаево до д. Чигиринка), низовья притоков Друти – рр. Вабич и Ослик, долины Ути (севернее г.п. Тереховка), Добжанки (в районе

г. Климовичи), Удоги, Черной и Белой Натопы, участок севернее г.п. Барань и др.

Оцененная в баллах интенсивность развития линейной эрозии (параметр изменяется в интервале от 1 до 24 в зависимости от благоприятствующих факторов – состав отложений, углы наклона, залесенность, глубина расчленения, размер водосборного бассейна, количество осадков) изменяется вдоль Днепра от 11 до 16 в южной части и от 11 до 22 в северной, по Сожу от 7 до 13, в бассейне Белой и Черной Натопы до 23,6, по Проне – до 17–19. Густота расчленения территории на участках развития линейной эрозии часто составляет $0,75$ – $1,0 \text{ км}/\text{км}^2$. Наибольшее количество оврагов и балок встречается на некоторых участках Могилевской и Горецкой равнин, где их число достигает 4–6, а иногда 7–10 ед./ км^2 . Минимальные значения (менее 1) характерны для Чечерской равнины. В основном же для территорий с развитием форм линейной эрозии их плотность составляет 1–2 ед./ км^2 .

Важным параметром количественной оценки интенсивности развития линейной эрозии являются также скорости роста оврагов. По полученным ранее результатам измерений с помощью реперной сети, подсчету длины активных форм по картографическим и дистанционным материалам разных лет, современные скорости роста оврагов изменяются в пределах 0,3– $3,5 \text{ м}/\text{год}$.

Суффозия. Это сложные химические процессы, проявлением которых являются разнообразные формы поверхностного (просадки, западины, провалы, колодцы и др.) и подземного (тоннели и др.) рельефа. На территории региона благоприятные условия для развития суффозии складываются в пределах Горецкой, Могилевской, Костюковичской, Чечерской равнин и Оршанской возвышенности, т. е. территории с покровом лессовидных отложений. Наиболее типичной суффозионной формой являются западины. Они встречаются во всех районах распространения лессовидных отложений. Западины представляют собой неглубокие, чаще округлые понижения. На лессовидных отложениях незначительной мощности нередко встречаются также ложбинообразные формы, когда длина в 2–3 раза превосходит ширину. Относительная глубина суффозионных понижений $0,1$ – $1,5 \text{ м}$, иногда достигает $3,0 \text{ м}$. Диаметр (ширина вытянутых форм) преимущественно колеблется от 30–50 до 100–120 м. Западины часто располагаются в виде цепочек по плоским тальвегам, иногда объединяются в массивы. Количество и размер западин, по данным О. П. Корсаковой [5], находится в прямой зависимости от мощности лессовидных отложений (70 % общего количества западин приходится на участки с мощностью лессовидных отложений более 4 м).

На интенсивность проявления суффозии влияет и рельеф. Например, западины отсутствуют на плоских поверхностях с превышением до 1–2 м, при развитии овражно-балочных форм с

глубиной вреза до 15–20 м и более, а также на коротких крутых склонах. Наибольшая плотность суффозионных форм, как правило, приурочена к районам с волнистым (превышения 6–7 м) и полого-волнистым (превышения 2–3 м) рельефом и мощным чехлом лессовидных отложений. В частности, самое большое количество суффозионных западин установлено в бассейнах Белой и Черной Натопы – до 25–40 шт./км², в левобережье Днепра (на восток от линии Орша – Копысь до государственной границы) – от 10–15 до 25–40 шт./км² и реже более, а также в междуречье Друти и Днепра (севернее широты Могилева) – от 5–10 до 15–25 шт./км² (реже до 40 шт./км²).

При этом следует иметь в виду, что при изменении гидрологических условий (искусственное орошение, утечки воды из труб и т. д.) суффозионные процессы могут резко активизироваться.

К суффозионным формам относятся также циркообразные ниши, встречающиеся по бортам оврагов, балок, склонам речных долин. Вдоль рек они изредка попадаются на Оршанской возвышенности и Могилевской равнине. Эти образования не отличаются крупными размерами и достигают в поперечнике 4–5 м. В естественном состоянии суффозионные понижения преимущественно заболочены, закустарены и не используются в сельском хозяйстве. Попытки их мелиорации пока не приносят положительных результатов. Через несколько лет западины опять проявляются в рельефе и зарастают сорняками.

Карстовые процессы. Они также заметно проявляются на территории региона. Карстующимися являются меловые породы. На востоке Беларуси они перекрыты маломощным чехлом (10–20 м и более) ледниковых отложений, а местами выходят на дневную поверхность. Кровля мела здесь сравнительно приподнята – до абсолютных отметок 150–160 м.

Развитие карста обусловило появление на земной поверхности довольно многочисленных, но небольших по площади и неглубоких западин. Только изредка в таких понижениях возникают малые озера. Обычно диаметр карстовых депрессий не превышает 50–70 м (изредка до 200–300 м). Глубина их, как правило, варьирует в диапазоне 0,3–3 м, изредка достигает 5 м (левобережье Беседи и др.). На некоторых участках (на территории Чериковского и Кричевского районов) количество мелких западин (диаметром 20–30 м и глубиной до 1 м) достигает 10–15 на 1 км². Эти формы часто располагаются дугами, что, вероятно, объясняется приуроченностью к линиям тока грунтовых вод.

Наибольшие площади проявления карстовых процессов и потенциального развития карста (толща вскрышных пород до 20–30 м) сосредоточены в левобережье Сожа (выше впадения Ипуть), западнее Кричева, юго-западнее Славгорода, между г.п. Довск и д. Клетени, к юго-востоку от Быхова, в левобережье Днепра (восточнее д. Михово, южнее и восточнее д. Мосток), восточнее

д. Глухи (к северо-западу от Быхова) и др. Характеризуя особенности проявления карста, следует подчеркнуть, что сооружение крупных котлованов, повышение интенсивности движений по зонам разломов (в случае дополнительных техногенных нагрузок, в том числе при создании водохранилищ) может вызвать активизацию процессов при глубине залегания мела около 20–30 м.

Гравитационные процессы. Смещение отложений под влиянием силы тяжести происходит по-разному. В соответствии с этим на исследованной территории различаются медленное перемещение материала на склонах (крип) и процессы, идущие с высокой скоростью (обвалы, осыпи, селеподобные потоки). Необходимое условие протекания таких процессов – сравнительно крутые склоны (более 2° для крипа, около 15–20° для оползней, обвалов, осыпей).

Обвалы, осыпи чаще всего приурочены к долине Днепра (выше впадения Березины), низьям Березины, к отдельным участкам на склонах долины Сожа (в районе Чечерска, Славгорода), к бассейнам Прони, Черной и Белой Натопы и др. Эти процессы также проявляются практически во всех карьерах, на некоторых дорожных выемках. Объемы перемещаемых пород обычно не превышают 1–2 тыс. м³, а, чаще всего, измеряются сотнями кубических метров.

Изредка в бассейне Днепра могут возникать селеподобные потоки, тяготеющие к участкам наибольших перепадов высот, распространения лессовидных отложений и овражно-балочных систем. В процессе прохождения одного селеподобного потока могут уничтожаться небольшие участки пашни, иногда заносятся улицы и отдельные дома. Так, известен факт, когда после прохождения грязевого потока, вызванного ливнем, в совхозе «Чаусский» Могилевской области для очистки улиц пришлось применять бульдозер, а у д. Галузы в течение нескольких часов было вынесено около 3 тыс. м³ грунта [4].

На территории региона из гравитационных процессов наиболее развит крип, или медленное движение материала на склонах в результате периодического изменения термического режима и увлажнения. Проведенные полевые наблюдения позволили установить, что в течение года подвижные репера на склонах смещаются преимущественно в интервале 0–10 мм, изредка эта величина достигает 30–40 мм, а в единичных случаях – даже 160 мм. Крип характерен для слоя покровных отложений мощностью около 0,5 м. Для рассматриваемого процесса свойственна частая смена знака движения по профилю склона и во времени. При этом перемещение грунтов в разные годы на одних и тех же участках может быть направлено в противоположные стороны.

Абсолютные значения скорости в целом прямо зависят от угла наклона, но направление движения не связано с данным показателем и, очевидно, определяется геологическим строением и другими локальными условиями развития крипа, которые могут меняться от года к году.

Поэтому средние многолетние значения скоростей уступают их величине, измеренной в течение одного года. Наибольшие возможные скорости крипа (до 2–4 мм/год) характерны для северной части района (вблизи Орши), правобережье Днепра западнее линии Копысь – Шклов, в бассейне верхней Оболянки – северо-восточнее г.п. Коханово, в междуречье Вихры и Прони – на участке от Чаус до Мстиславля, отмечены на обоих берегах Друти – южнее Белыничей и т. д.

Эоловые процессы. Еще одним агентом современного переноса материала является ветер. В той или иной степени золовая деятельность выражена на всей изученной территории. Обычно она начинается с эрозии материала, которая подразделяется на повседневную, или местную, и так называемые пыльные бури. Проявление повседневной дефляции, в процессе которой перемещается несколько сотен килограммов с гектара в год, происходит на распахиваемых землях и становится заметной только при общем анализе за большой промежуток времени, например при оценке эродированности почв.

Хотя главной движущей силой процесса служит ветер, его проявление и интенсивность зависят от многих условий: механического состава поверхностных отложений; типа и состояния почвенно-растительного покрова; сочетания термических условий и увлажнения; хозяйственной деятельности. В условиях региона на развитие эоловых процессов накладывается множество ограничений. В частности, зональный лесной тип растительности полностью исключает возможность дефляции и эоловой аккумуляции в естественных условиях. Возможным эоловым процесс становится только при интенсивной хозяйственной освоенности территорий.

Наиболее морфологически выраженные формы проявления эоловых процессов (небольшие гряды и холмы высотой до 3–5 м) тяготеют к междуречью низовий Березины и Днепра, в других районах они встречаются единично. Что касается проявления такой экстремальной формы дефляции, как пыльные бури, то вероятность их возникновения на большей части изученной территории оценивается как слабая.

Биогенные процессы. В формировании земной поверхности важную роль играют живые организмы. Чтобы в полной мере оценить их деятельность как геологический процесс, отметим, что помимо осадконакопления они определяют состав атмосферы и в значительной степени гидросферы. Состав же атмосферы влияет на климат, а климатические особенности, в свою очередь, – на ход выветривания горных пород. Органическое вещество принимает участие и в транспортировке материала, причем перенос осуществляется как механическим путем, так и в растворенной и коллоидной формах.

На территории региона эти процессы привели к образованию довольно многочисленных, но относительно небольших по площади торфяников. Наиболее крупные болотные массивы:

«Дулебское» (северо-северо-восточнее Кличева), восточнее Кличева (южнее д. Точище), в междуречье Днепра и Прони (восточнее, юго-юго-восточнее д. Следюки, между дд. Бахань – Никоновичи – Кульшичи), в верховьях р. Клевы, в бассейнах рр. Вабич, Усвейка и др. Самые значительные торфяники по площади достигают 2–3 тыс. га (реже более). Мощности торфа на большей части территории составляют 1–2,5 м (до 5 м), на севере района изредка до 7,8 м.

В заключение необходимо отметить, что, кроме непосредственного участия в морфогенезе, живые организмы играют важную косвенную роль в преобразовании рельефа, благоприятствуя или, наоборот, сдерживая развитие тех или иных геоморфологических процессов. Так, животные и растения существенно влияют на ход линейной и плоскостной эрозии, эоловых процессов и т. д.

Эндогенные процессы. Среди этого класса геологических процессов ведущими на исследованной территории являются сейсмичность, вертикальные и горизонтальные движения земной коры, процессы, обусловившие формирование сети линейных и кольцевых структур.

Сейсмичность обычно связана с активными на новейшем этапе разломными зонами. По результатам исследований последних десятилетий возможная сотрясаемость в пределах прослеженной Могилевской сейсмогенной зоны может составить 6 баллов [1]. Этот вывод подтверждается тем, что на изученной территории в конце XIX в. (1893 и 1896 гг.) произошло два 5–6-балльных землетрясения [12].

Если сейсмические события в основном локализованы в зонах глубинных разломов, то **вертикальные движения** земной коры проявляются повсеместно. При общем фоне изменения скоростей от минус 2 до плюс 1 мм/г. колебания рассматриваемого показателя в пределах зон активных на новейшем этапе разломов достигают 10–20 мм/г. и более, причем направление перемещения земной поверхности может меняться от года к году [11]. ТERRитория района в основном испытывает в настоящее время опускание и только в районе Шклова зарегистрированы поднятия. Однако необходимо отметить, что на фоне общего погружения северная часть района относительно поднимается, так как интенсивность прогибания здесь ниже, чем на расположенной южнее территории. Связанные с разломами зоны высоких градиентов вертикальных движений установлены в левобережье Сожа примерно от Славгорода до Кричева, в районе Быхова, в устье Березины, вдоль долины Днепра в районе Орши и др.

Значительно меньше данных на территории региона получено по проявлению **горизонтальных движений**. К сожалению, инструментальных наблюдений за этим типом движений на площади района не проводилось. Однако совместный анализ геоморфологических, геологических и тектонических данных позволяют предпо-

ложить, что горизонтальные смещения блоков земной коры происходят вдоль зон разломов в районе Могилева, вблизи Рогачева, по нарушениям, которые пересекают р. Друть в направлении от д. Олень – на ж.д. станцию Друть, р. Беседь в направлении с юго-запада на северо-восток через д. Новые Громыки. Скорости горизонтальных движений по аналогии с результатами измерений на Солигорском и Воложинском геодинамических полигонах могут достигать 30–40 мм/г. [8].

Выражением современных эндогенных процессов являются кольцевые структуры. Они возникли на различных этапах развития в процессе формирования энергогенерирующих очагов в земной коре и верхней мантии. Вследствие активизации на новейшем этапе отдельные из них получили выраженность в земной поверхности и покровных отложениях. Индикаторами кольцевых структур главным образом служат обширные болотные массивы, отдельные высыпки, котловины, речная сеть. По границам овалов нередко наблюдается смена типов рельефа. На территории района кольцевые структуры расположены в районе Дубровно, восточнее Копыси – Шклова, между Белыничами и Могилевом, юго-восточнее Быхова, между гг. Рогачев, Корма и Жлобин, севернее Светлогорска.

Техногенные (антропогенные) процессы.

В настоящее время рассматриваемый класс геологических процессов на изученной территории является довольно заметным фактором трансформации земной поверхности. Вооруженный современной техникой человек создает принципиально новые формы рельефа и типы отложений, влияет на ход природных процессов. Антропогенный рельеф (с пашней) уже сейчас развит более чем на 1/3 всей площади. Без учета пашни на долю антропогенных форм (техноФорм) приходится около 3–4 % территории.

Из созданных человеком форм наиболее характерными, помимо пашни, являются дорожные выемки и насыпи (высотой или глубиной до 7–10 м, вытянутые суммарно на многие сотни километров), террасированные поверхности крупных населенных пунктов, карьеры (глубиной до 30–35 м и площадью до 100 га), отвалы и свалки в районе Могилева, Ориши, Кричева, Климовичей, вблизи других наиболее крупных городов.

Кроме непосредственного воздействия на земную поверхность, человек способствует активизации ряда естественных геологических процессов (обвалов, осыпей, просадок, дефляции, линейной и плоскостной эрозии и т. д.).

В целом величина антропогенной трансформации земной поверхности может быть оценена через средний объем перемещенного вещества, измеряемый в десятках тысяч метров кубических на квадратный километр [15]. Для изученной территории эти величины варьируют от 9–11 до 17–19 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$, достигая максимальных значений в районе Кричева, Климовичей, Могилева – 21–23 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$.

Наибольшему изменению подверглись участки распространения краевых ледниковых образований, лессовидных отложений, участки близ поверхностного залегания меловых пород, некоторые речные долины и торфяники, а также площади вблизи населенных пунктов, разрабатываемых месторождений полезных ископаемых, крупных инженерных сооружений и промышленных предприятий. Нередко на таких участках земная поверхность приобретает качественно новые очертания, а техногенная преобразованность локально достигает 3000–4000 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$.

Учитывая разную степень измененности земной поверхности, следует избегать строительства новых крупных объектов и сооружений в районах, испытывающих в настоящее время максимальную антропогенную нагрузку, так как продолжающееся ее возрастание может привести к необратимым изменениям в природе, стимулировать развитие крайне неблагоприятных процессов (понижение уровня и загрязнение подземных вод, загрязнение покровных отложений, просадки, эрозию, сейсмические явления, заболачивание и т.д.).

Выводы. Приведенные выше материалы свидетельствуют о том, что в пределах исследованной территории активно проявляются процессы современной трансформации земной поверхности и покровных отложений. Интенсивность этих процессов на некоторых участках достигает таких величин, когда начинается существенное преобразование природных ландшафтов, наносится ущерб экономике государства и ухудшается экологическая обстановка. Для подобных случаев оправдано употребление термина «экстремальные (опасные) геологические процессы». К числу экстремальных можно отнести отдельные виды всех трех известных классов современных процессов: экзогенных, эндогенных и техногенных.

Среди экзогенных проявлений к экстремальным относится плоскостная эрозия в случаях, когда смыв превышает 2 мм/г., линейная (овражная) эрозия, пыльные бури, эрозия селеподобных потоков, катастрофические половодья и паводки, суффозия, карст, обвалы, оползни, опсыпи.

Из класса эндогенных экстремальными на территории района могут считаться процессы в зонах активных на современном этапе линейных нарушений, с которыми связаны повышенные скорости вертикальных движений земной коры, а также известные по историческим данным эпицентры землетрясений.

Экстремальных форм могут также достигать проявления техногенных процессов при значениях коэффициента преобразованности природных комплексов, превышающих 1 млн $\text{м}^3/\text{км}^2$, сопровождающихся понижением устойчивости рельефа к техногенным нагрузкам до 50 % и менее. На таких территориях возможно развитие оползней, обвалов, просадок, землетрясений, загрязнение поверхности и подземных вод, почв, ухудшение качества атмосферного воздуха.

Литература

1. Айзберг Р. Е., Аронов А. Г., Гарецкий Р. Г. и др. Сейсмотектоника Беларуси и Прибалтики // Літасфера. 1997. № 7. С. 5–18.
2. Блакітная кніга Беларусі: Энцыклапедыя. Мінск, 1994.
3. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Белорусская ССР. Л., 1985. Т. 3.
4. Жилко В. В. Эродированные почвы Белоруссии и их использование. Минск, 1970.
5. Корсакова О. П. Геоморфологическая роль суффозии в лесовых породах Белоруссии // Автoref. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1990.
6. Матвеев А. В., Ажиревич Л. Ф., Вольская Л. С. и др. Кольцевые структуры территории Беларуси. Минск, 1993.
7. Матвеев А. В., Гурский Б. Н., Левицкая Р. И. Рельеф Белоруссии. Минск, 1988.
8. Матвеев А. В., Ковалев А. А., Нечипоренко Л. А. и др. Современные горизонтальные движения земной коры на территории Воложинского и Солигорского геодинамических полигонов (Беларусь) // Літасфера. 2002. № 1 (16). С. 113–117.
9. Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А. Линеаменты территории Беларуси. Минск, 2001.
10. Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А., Павловский А. И. и др. Современная динамика рельефа Белоруссии. Минск, 1991.
11. Матвеев А. В., Нечипоренко Л. А., Шишонок Н. А. Особенности современных вертикальных движений земной коры на территории Беларуси // Доклады НАН Беларуси. 1998. Т. 42. № 2. С. 107–109.
12. Мушкетов И. В. Материалы для изучения землетрясений России // Приложение к XXXV тому Известий Императорского Русского Географического общества. Санкт-Петербург, 1899. С. 91–102.
13. Павловский А. И. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Белоруссии. Минск, 1994.
14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидроклиматические характеристики (за 1963–1970 гг. и весь период наблюдений). Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Л., 1974. Т. 5.
15. Савчик С. Ф. Антропогенный морфогенез на территории Беларуси. Авторефер. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 2002.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.06.2011

Л. А. Нечипоренко

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДНЕПРА (НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ)

Рассмотрены особенности проявления современных экзогенных (плоскостной смыв, эрозия линейных водотоков, обвалы и осыпи, дефляция и эоловая аккумуляция, накопление торфа), эндогенных (вертикальные и горизонтальные движения земной коры, сейсмичность) и техногенных (перемещение грунтов при вспашке, добыча полезных ископаемых, строительстве дорог, гидротехнических сооружений) процессов в бассейне верхнего Днепра. Приведенные в статье материалы свидетельствуют о том, что в пределах исследованной территории активно проявляются процессы современной трансформации земной поверхности и покровных отложений. Интенсивность этих процессов на некоторых участках достигает таких величин, когда начинается существенное преобразование природных ландшафтов, наносится ущерб экономике государства и ухудшается экологическая обстановка.

L. A. Nechiporenko

MODERN GEOLOGICAL PROCESSES IN THE BASIN OF HIGH DNEPER (TERRITORY OF BELARUS)

Features of display of modern exogenic (plane washout, erosion of linear water currents, collapses and taluses, deflation and eolian accumulation, peat accumulation), endogenic (vertical and horizontal shifts of earth crust, seismicity) and technogenic (displacement of grounds at tilling, mining operations, building of roads, hydraulic engineering constructions) processes in the High Dnieper basin. The materials resulted in the article testify that within the investigated territory the processes of modern transformation of a terrestrial surface and cover deposits actively reveal. These processes intensity on some sites reaches such sizes when essential transformation of natural landscapes begins, the damage to economy of the state is caused and ecological conditions worsen.

УДК 550.348+551.2

**Р. Р. Сероглазов¹, С. Б. Кишкина², А. Г. Аронов¹,
В. М. Колковский¹, Т. И. Аронова¹**

К ВОПРОСУ О СВЯЗИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДОЙ

Работа выполнена по материалам сейсмических наблюдений на территории Беларуси при поддержке проектов X08Р-205 БРФФИ и 08-05-90013-Бел_a РФФИ. Проведено изучение характеристик и распределения сейсмических шумов совместно с параметрами поглощения и рассеяния сейсмических волн в геологической среде. Обнаружено, что определенные изменения в спектральных параметрах микросейсмического излучения связаны с геодинамической и тектонической активностью, выраженной через добротность среды. Выявленные закономерности носят локальный характер и связаны с тонкой структурой распределения напряжений в среде.

Свойства сейсмических шумов, позволяющие их использование в качестве инструмента при изучении земных недр, выявлены в связи с их пространственной изменчивостью и приуроченностью к зонам тектонических нарушений, геодинамической активности, эпицентральным зонам потенциальных очагов землетрясений. Это могут быть также и области, где заранее известно о наличии глубинной активности, известны картина напряженного состояния и другие признаки протекания эндогенных процессов в среде. Параметры сейсмического шума широко используются при изучении геодинамических характеристик среды и выявлении активных тектонических зон [16], в том числе при томографии залежей полезных ископаемых [2, 3].

Короткопериодный микросейсмический шум в диапазоне частот 0,1–30,0 Гц является наиболее доступным при изучении, так как в данном диапазоне работает большинство региональных и локальных сейсмических сетей, в достатке обеспечивающих исследователей необходимым первичным материалом. Этот диапазон частот в основном используется при изучении сейсмической опасности методами, позволяющими выявлять резонансные свойства верхней части геологического разреза с дальнейшим соотнесением их с собственными частотами зданий и сооружений [6, 12].

Обнаружение зон повышенной локальной тектонической активности можно осуществлять на основе изучения распределения параметра добротности в геологической среде. Впервые идею о возможной связи областей повышенной тектонической активности с добротностью среды высказал К. Аки в 80-х гг. прошлого столетия [1]. Им и рядом других исследователей [17] было показано, что величина Q^{-1} в диапазоне частот 0,1–25 Гц неизменно возрастает при перемещении от тектонически стабильных к активным областям. При этом утверждается, что добротность среды может служить мерой тектонической активности: стабильные зоны характеризуются вы-

соким значением добротности, тектонически активные зоны – низким значением.

На основе изучения взаимосвязи пространственно-временных характеристик микросейсм в короткопериодной области с параметрами, описывающими затухание сейсмических волн, в том числе и добротность среды, можно оценить напряженное состояние среды и построить пространственное распределение, а также развить представления о природе тензочувствительности среды.

Метод расчета параметра добротности среды по сейсмической коде. Из достаточно большого числа теоретических и экспериментальных работ по изучению затуханий сейсмических волн и связанного с ними параметра добротности среды наибольшее распространение получили представления о добротности среды как параметра, не зависящего от частоты сейсмических волн [1]. Однако для высокочастотной области, включая акустический диапазон частот, экспериментальные и теоретические исследования поглощающих свойств и дисперсии упругих волн в различных средах обнаруживают их устойчивую частотную зависимость. Причем степень зависимости коэффициента поглощения от частоты изменяется от модели к модели среды – от квадратичной $\sim\omega^2$ до корня квадратного $\sim\omega^{1/2}$ [7].

Для некоторых регионов, в частности севера Индостана и Гималаев, в диапазоне частот 0,1–30 Гц добротность, рассчитанная по сейсмическим данным, имеет устойчивую зависимость от частоты по закону близкому $\sim\omega^n$, где показатель n близок к единице [17].

Добротность среды может быть оценена по записям близких и удаленных землетрясений или взрывов. Используется хвостовая часть сейсмической записи или кода-волны, которые представляют собой монотонно затухающий шлейф колебаний после прихода регулярных волн. Для близких землетрясений кода занимает большую часть записи. В тех случаях, когда используются записи удаленных землетрясений,

могут быть использованы шлейфы группы P -волн, или S -волн (так называемая S -кода), или кода любой другой регулярной части сейсмической записи, например Lg -кода [8].

Формирование коды сейсмической записи обусловлено внутренним строением геологической среды. Это, прежде всего, слоистость и анизотропия среды, наличие отдельных волноводов с отрицательным градиентом скорости, блоковое строение среды с иерархическим распределением размеров блоков, случайно распределенная мелкая неоднородность среды, или мутность [11]. При формировании коды происходят многочальные отражения от различных горизонтальных и наклонных границ, волноводных границ, а также рассеяние на неоднородностях. Часть коды, формируемая при многократных отражениях, вызывает так называемые перегибы в огибающей коды или периодические возрастания и убывания на фоне общего спада интенсивности.

Для близких землетрясений длительность сейсмической коды не зависит от эпицентрального расстояния, а зависит от энергии сейсмического события, что позволяет использовать этот фактор для определения величины магнитуды. Такие шкалы разработаны для разных регионов [10, 18].

При регистрации взрывов в районах с мощной осадочной толщиной хвостовую часть сейсмограммы формируют диспергирующие поверхностные волны с фазовыми скоростями от 1200 м/с в начальной части коды до 200 м/с и менее в конце записи. При наличии круто-наклонных границ на пути распространения волн в коде могут наблюдаться так называемые боковые волны, отраженные от этих границ. Направление прихода боковых волн не совпадает с направлением на эпицентр, а кажущаяся скорость таких волн значительно ниже регулярных волн. Боковые волны наблюдаются и на низких частотах. В данном случае их связывают с известными глобальными неоднородностями в земной коре [9].

Наличие отраженных волн в коде сейсмической записи небольшой кратности обусловлено в ряде случаев с внутренними границами. Однако при сильном рассеянии кратность волн увеличивается и становится трудно выделить доминирующие неоднородности, вносящие вклад в формирование шлейфа записи. В таком случае говорят о диффузионном рассеянии и для статистического описания коды применяют уравнение диффузии [8].

Общая феноменологическая модель изменения формы колебаний волны с расстоянием имеет следующий вид:

$$A(r) = A_0 r^{-n} e^{-\alpha r}, \quad (1)$$

где A_0 – амплитуда волны в источнике; r – расстояние, пройденное волной; n – показатель геометрического расхождения [13]; α – коэффициент затухания.

В зависимости от типа волны показатель геометрического расхождения в формуле (1) может иметь различное значение. В общем случае $n = 1$ для поверхностных волн и $n = 2$ для объемных волн. При наличии определенных условий этот показатель может быть меньше единицы.

Что касается коэффициента затухания α , то его необходимо рассматривать как сумму $\alpha_c = \alpha_p + \alpha_s$, состоящую из коэффициента поглощения и коэффициента рассеяния. Коэффициент поглощения имеет размерность m^{-1} . На практике обычно пользуются безразмерной величиной, называемой в теории колебаний декрементом поглощения, который равен $\theta = \alpha_p \cdot \lambda$, где λ – длина волны. Отсюда вытекает определение добротности в совокупности с декрементом поглощения: $Q \cdot \theta = \pi$.

При использовании записей близких землетрясений или взрывов применяют соотношения для затухания плотности энергии регулярных волн с расстоянием:

$$\begin{aligned} J(r) &= \frac{J_0 r_0}{r} \exp[-\alpha_c(r - r_0)]; \\ J(r) &= \frac{J_0 r_0^2}{r^2} \exp[-\alpha_c(r - r_0)]. \end{aligned} \quad (2)$$

Первое выражение относится к плотности энергии поверхностных волн, а второе – объемных волн. По этим выражениям можно определить значение коэффициента α_c . Для вычисления слагаемых, а именно коэффициентов поглощения и рассеяния, можно использовать теоретические соотношения, описывающие формирование шлейфа сейсмической записи при не очень больших кратностях рассеяния. Данные соотношения для поверхностных и объемных волн имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} J(t, \Delta t) &= J_0 r_0 \alpha_p \Delta t \left[\frac{1}{t} + \alpha_p c + \frac{(4 - \pi) \alpha_p^2 c^2 t}{2} \right] \exp(-\alpha_p c t); \\ J(t, \Delta t) &= \frac{J_0 r_0^2 \alpha_p \Delta t}{t} \left[\frac{1}{ct} + \alpha_p \frac{\pi^2}{16} + \frac{\pi^2 \alpha_p^2 c t}{64} \right] \exp(-\alpha_p c t), \end{aligned} \quad (3)$$

где J_0 – плотность энергии в очаге; r_0 – радиус некоторой референц-сферы вокруг очага; Δt – длительность рассматриваемого участка записи; t – текущее время; c – фазовая скорость волн. Соотношения соответствуют определенной частоте. Зная суммарный коэффициент затухания и вычисленный по формуле (3) коэффициент рассеяния, можно вычислить коэффициент поглощения, а затем добротность среды.

Вычисленная по данной схеме добротность будет относиться к определенному профилю наблюдений, вдоль которой вычисляется суммарный коэффициент по соотношению (2), а значит, и к определенному объему геологической среды. Таким образом, будем вычислять добротность среднюю для некоторого объема среды, охваченной системой наблюдений. Кроме того, вычисления, произведенные по соотношениям (2) и (3) дадут возможность проследить частотную зависимость самих коэффициентов поглощения.

Для изучения пространственного распределения добротности от пункта к пункту наблюдения воспользуемся другим соотношением, которое связывает амплитуду сейсмической коды при отсутствии в ней регулярных волн (4):

$$A(t) = \frac{\Delta t}{t^{1/2}} \exp\left(-\frac{\pi t}{QT}\right), \quad (4)$$

где Q – добротность среды; T – период колебаний.

Таблица 1. Значения параметров для приборов *Le-3Dlite*

№ п/п	Нули	Полюса
1	0+i0	-4,440+i4,440
2	0+i0	-4,440-i4,440
3	0+i0	-1,083
4	Коэффициент преобразования	400 в·с/м

Регистрация 3-компонентная. На рис. 1 показан пример записи вертикальной компоненты взрыва.

В начальной части записи зарегистрировались головные волны, преломленные на границе кристаллического фундамента и осадочного слоя мощностью примерно 500 м. Фазовая скорость головных волн составляла 4700–4800 м/с, длительность записи около 1,2 с. Пример поляризации головной волны показан на рис. 2. В горизонтальной плоскости главная ось поляризации направлена вдоль линии азимута с эпицентра взрыва к точке регистрации. В вертикальных плоскостях, особенно в плоскости *EW*, можно было оценить угол выхода сейсмического луча, который составил примерно 80°.

После головной волны в следующих вступлениях наблюдается группа волн, которые можно

при исследовании кода – волн, важную роль играет общая волновая структура записи. Для взрывов велика вероятность регистрации поверхностных волн в шлейфе записи. С увеличением времени от момента регистрации регулярных волн возрастает вероятность того, что кода – волны будут поверхностного типа. Для уверенного использования соотношения (4) необходимо использовать ту часть шлейфа записи, которая уже перешла в асимптотику [9].

Экспериментальное изучение кода-волн от взрывов. Для изучения кода – волн и последующего вычисления параметров поглощения и рассеяния сейсмических волн были использованы записи взрывов при проведении изыскательских работ в Гродненской области. Масса взываемых зарядов составляла около 20 кг. Заряды закладывались в скважины глубиной 20–25 м. Регистрация взрывов производилась на расстояниях от 8 до 10 км. Для одновременной регистрации использовалось 5 сейсмических станций при каждом взрыве. Затем положение станций изменялось и производился следующий взрыв.

Используемая аппаратура состояла из цифровых регистраторов «Дельта-Геон 03», производства фирмы «Геотех» (Россия), и сейсмо-приемников *Le-3Dlite*, производства фирмы «Lenartz» (Германия). В табл. 1 приведены значения нулей и полюсов, используемых сейсмо-приемников. Характеристики аппаратуры позволяют регистрировать скорость колебаний почвы в частотном диапазоне 0,5–30 Гц. Частота оцифровки составляет 125 Гц на канал.

интерпретировать как закритически отраженные, так как фазовая скорость для этой группы равна примерно 3000 м/с, а азимут поляризации для них в горизонтальной плоскости примерно выдержан в направлении луча (в вертикальных плоскостях оси поляризации имеют меньший угол по сравнению с головной волной). Картина поляризации для них приведена на рис. 2.

На рис. 2 показаны также поляризационные эллипсы для шлейфовой части группы *P*-волн. Поляризации в этом случае близки к изотропной. Группа *P*-волн отличается более высокими частотами по сравнению с остальной частью записи. Максимумы спектральной плотности лежат, в основном, в диапазоне 10–17 Гц, в то время как для последующих волн – в диапазоне 5–7 Гц, а для коды записи – в области 3–5 Гц.

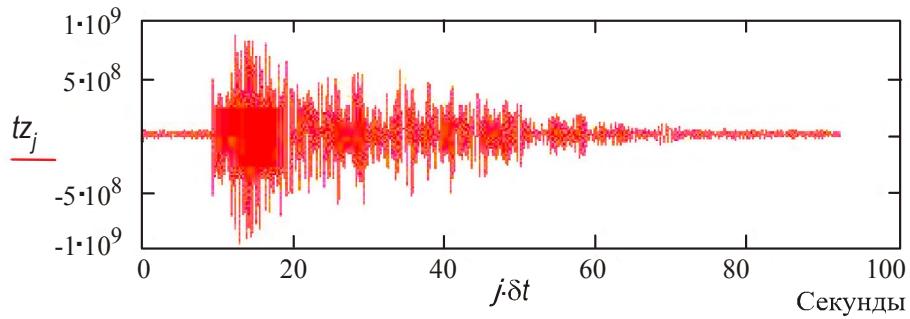


Рис. 1. Пример записи взрыва вертикальной компонентой прибора

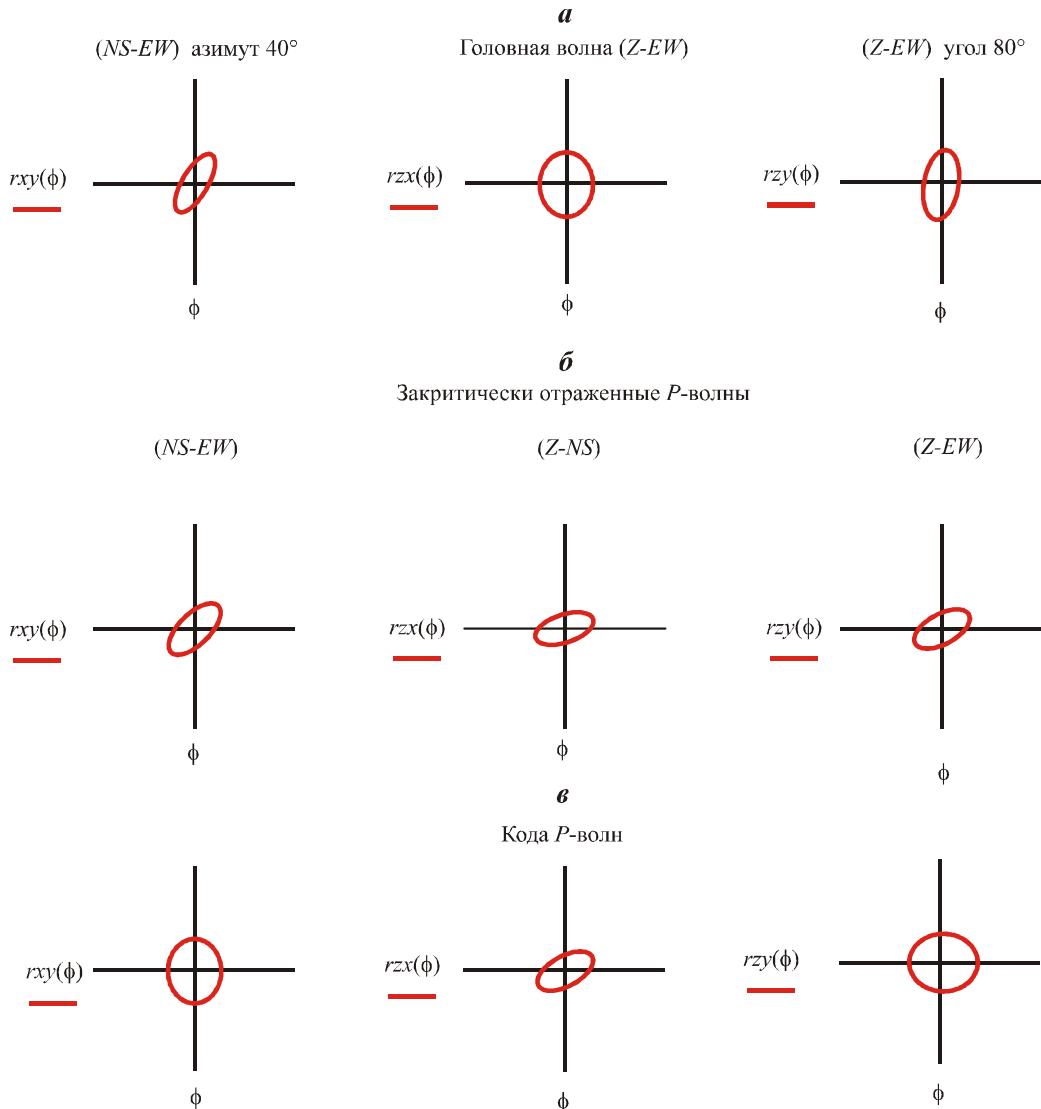


Рис. 2. Поляризация записи P -волн:
 a – головная волна, препомленная от фундамента ($c \sim 4700$ – 4800 м/с);
 b – закритически отраженные P -волны ($c \sim 3000$ м/с); c – кода P -волн

По истечении примерно 20–24 с после первого вступления на записи появляются интенсивные волны, имеющие резко выраженную поляризацию типа SH . Особенно ярко они проявляются на компоненте EW . Иногда амплитуда записи этих волн превышает максимальную амплитуду группы

продольных волн, где доминируют интенсивные закритически отраженные волны. Эллипсы поляризации для данных волн показаны на рис. 3, a . Из рисунка хорошо видно, что в горизонтальной плоскости ось поляризации перпендикулярна лучу с азимутом 60 – 80° . В вертикальных плоскостях

поляризация близка к линейной и перпендикулярна главной оси субгоризонтального направления. Фазовая скорость для этих волн лежит в диапазоне 310–340 м/с. Общая картина поляризации, величина фазовой скорости, поверхностное расположение источника взрыва, включая накопленный опыт регистрации сейсморазведочных взрывов [8], дают основание сделать вывод, что данные волны являются поверхностными волнами типа Лява.

На рис. 3, *б* приведены эллипсы поляризации для асимптотической части коды записи

взрыва. В асимптотике коды доминируют поверхностные волны, которые можно интерпретировать как релеевские. Это хорошо видно из направления главной оси горизонтальной поляризации, совпадающей с направлением на эпицентр взрыва. Поляризация в вертикальных плоскостях близка к эллипсам, также характерным для релеевских волн. Кроме того, фазовые скорости данных волн меньше скоростей волн, интерпретированных выше как волны Лява, и составляют 200–240 м/с.

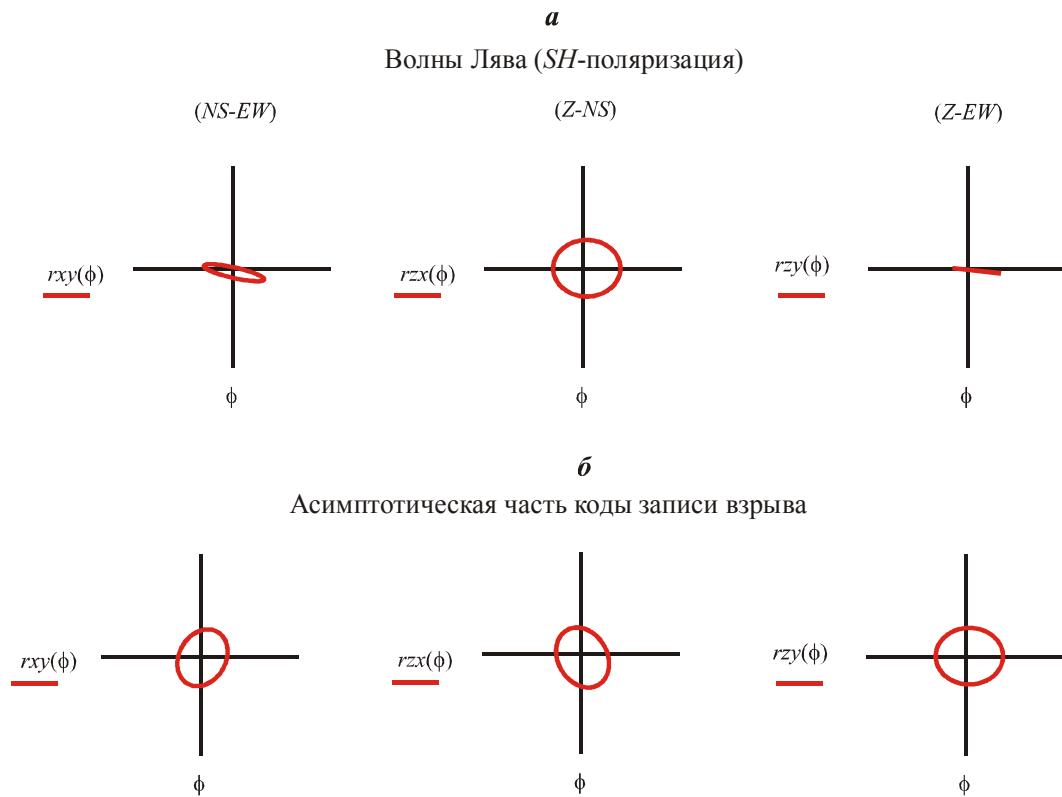


Рис. 3. Поляризация поверхностных волн:
а – регулярной части записи ($c = 330$ м/с); *б* – асимптотической части коды

Расчет коэффициентов затухания. При проведении взрывов пункты регистрации располагались по одному продольному и нескольким поперечным профилям. Для данных, полученных на продольном профиле, был рассчитан суммарный коэффициент затухания с помощью соотношения (2). Для этого на каждой записи выделен участок с максимальными амплитудами P -волн, которые, как было сказано выше, состоят из за-критически отраженных волн от границы кристаллического фундамента и осадочного слоя. Так как аппаратура регистрировала значения скорости смещения почвы, то переход от амплитуд волн к значениям плотности энергии осуществляется простым возведением их в квадрат.

Каждая временная реализация участка записи, включающая максимум P -волн, фильтровалась полосовым фильтром с центральными частотами от 1 до 25 Гц. Амплитудный спектр, полученный путем полосовой фильтрации, вышел более сглаженным по сравнению со спектром Фурье, имеющим сильную изрезанность. Таким образом, для каждой гармоники была получена зависимость плотности энергии от расстояния. Затем для каждой частоты рассчитывался коэффициент α_c в соответствии с зависимостью спадания интенсивности колебаний с расстоянием (2). Расчет производился методом наименьших квадратов.

Таблица 2. Относительное изменение амплитуд записей взрывов от расстояния для различных частот и рассчитанные по ним коэффициенты затухания ($\alpha_{(8 \text{ пункт})}$) и ($\alpha_{(6 \text{ пункт})}$)

Дельта, км	In(A/Aэталонное)							
	1 Гц	3 Гц	5 Гц	10 Гц	12 Гц	15 Гц	20 Гц	25 Гц
8,1	0,54	0,56	0,57	0,60	0,60	0,61	0,61	0,60
8,5	0,11	0,17	0,21	0,28	0,30	0,33	0,36	0,41
8,8	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
9,1	0,13	0,15	0,17	0,20	0,21	0,22	0,24	0,26
9,4	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21
9,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,8	0,18	0,15	0,14	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05
10,2	-0,41	-0,23	-0,11	0,06	0,11	0,16	0,25	0,34
$\alpha_{(8 \text{ пункт})}$	0,30	0,27	0,26	0,23	0,23	0,22	0,21	0,19
$\alpha_{(6 \text{ пункт})}$	0,26	0,28	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35

В табл. 2 приведены значения относительных амплитуд вдоль профиля в зависимости расстояния, а на рис. 4 соответствующие графики. Примечательно, что для отдельных точек графика наблюдается большой разброс относительных амплитуд спектральных гармоник на разных частотах, а для других – меньший разброс, наблюдается аномально большие амплитуды для высоких частот. Возможной причиной такого разброса являются различные инженерно-геологические условия на разных пунктах наблюдений (точках графика). Например, два крайних пункта профиля попадают в зону так называемых палеоврезов, где вместо плотных моренных отложений находятся мощные песчаные отложения. На этих пунктах амплитуда высоких частот настолько велика, что коэффициент затухания (суммарный коэффициент рассеяния и поглощения), рассчитанный по соотношению (2), не возрастает с частотой, а, наоборот, убывает. В табл. 2 показаны коэффициенты затухания для всего профиля ($\alpha_{(8 \text{ пункт})}$) и без двух последних пунктов на профиле ($\alpha_{(6 \text{ пункт})}$). В итоге было решено при дальнейших расчетах использовать данные усеченного профиля.

Значения коэффициента затухания, а также вычисленные по ним значения коэффициентов поглощения и добротности показаны на рис. 5. Добротность, вычисленная по коэффициентам поглощения, возрастает с ростом частоты. Чтобы получить частотно независимую добротность, как это декларировано [1], необходимо, чтобы коэффициент поглощения возрастал с частотой по линейному закону. На самом деле эта зависимость более слабая. Ее можно аппроксимировать логарифмическим законом. На рис. 4 приведено логарифмическое соотношение, достаточно хорошо аппроксимирующее закон роста коэффициента поглощения с частотой.

Таким образом, можно сказать, что аномально низкий рост коэффициента поглощения с частотой вдоль рассматриваемого профиля (а иногда и убывание) является причиной значительной частотной зависимости добротности среды. Можно привести, по крайней мере, три

объяснения наблюдаемому явлению. Два из них связаны с микросейсмами.

1. Отдельные участки геологической среды, особенно ослабленные зоны, испускают эндогенное микросейсмическое излучение, которое начинает сказываться на высоких частотах (выше 10–15 Гц). Складываясь аддитивно с волнами от взрыва, они вносят вклад в высокочастотную область спектра сейсмического сигнала, что ведет к аномальному увеличению высокочастотной ветви спектра.

2. Особенности инженерно-геологического разреза формируют частотную характеристику среды: наблюдаются линии спектра сигнала, которые усиливаются средой на резонансных частотах. Если на рассматриваемом участке (профиле) разрез однороден, то эти изменения спектра будут одинаковыми для всех рассматриваемых пунктов наблюдений. Если для отдельных частей профиля будут обнаруживаться изменения строения среды, то это приведет соответственно к аномальным изменениям спектров от пункта к пункту. В данном случае нормальным изменением можно считать, например, убывание амплитуды спектральных гармоник для всего частотного диапазона при удалении от сейсмического источника.

3. И, наконец, области среды, рассмотренные в предыдущем пункте, должны аномально изменять не только спектр волн от взрыва, но и наблюдаемые повсеместно микросейсмы экзогенного типа (индустриальные, антропогенные и атмосферные шумы), так как эти шумы также взаимодействуют с верхней частью геологического разреза. Сейсмический шум складывается с полезным сигналом и таким образом вносит в него искажения. Необходимо также отметить то обстоятельство, что размеры участка среды, где расположен профиль наблюдений, невелики (~2 км) и на нем не было локальных источников сейсмического шума, который мог бы внести искажения в сейсмический сигнал от пункта к пункту, поэтому, скорее всего, изменения связаны с геологическим строением.

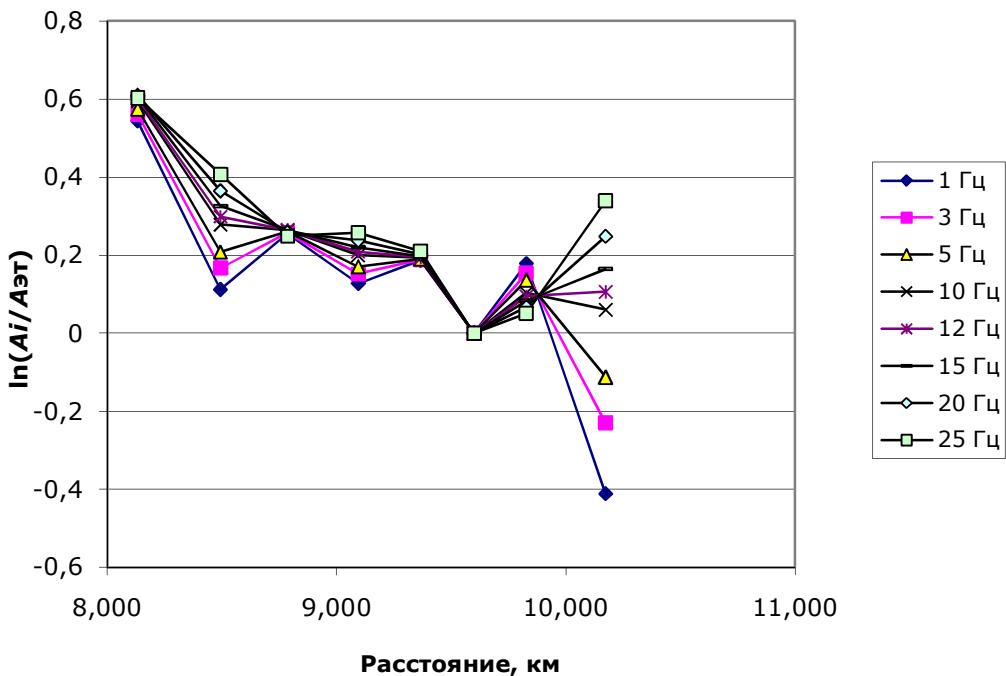


Рис. 4. Зависимость относительных спектральных амплитуд разной частоты от расстояния до пункта взрыва вдоль продольного профиля

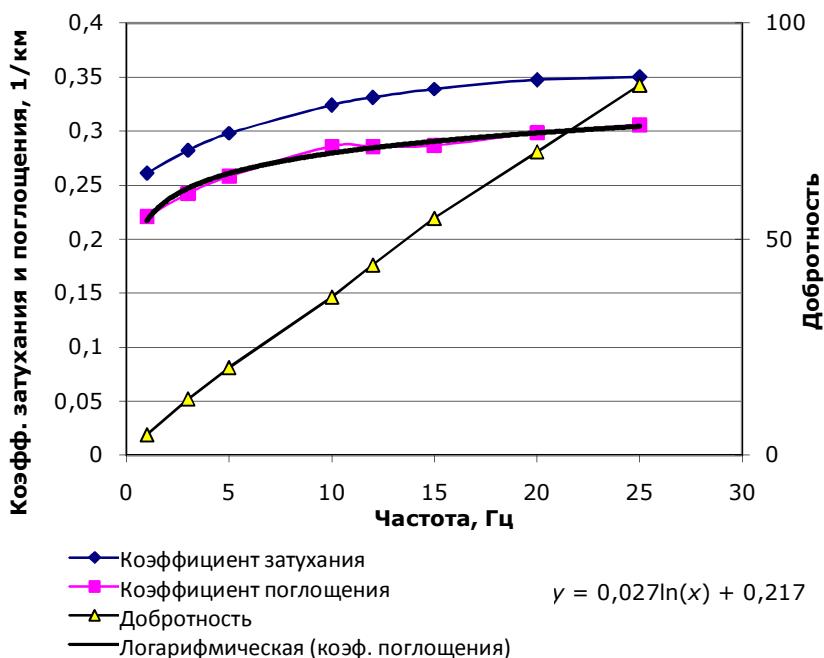


Рис. 5. Коэффициенты затухания, поглощения и добротность

В наиболее простом случае период резонансных колебаний почвы определяется по соотношению [12]:

$$T_{\text{рез}} = \frac{4 \cdot H}{V_s}, \quad (5)$$

где V_s – скорость поперечных волн слоя мощностью H .

Интерференция падающей и многократно отраженных волн также может усиливать распространяющиеся колебания в зависимости от соотношения длины волны и мощности слоя [5].

Вычисление добротности среды. Добротность среды по каждому из пунктов наблюдений вычислялась по асимптотической части коды записи взрывов. Для этого использовалось соотношение (4). Расчеты производились методом наименьших квадратов. По записи взрыва в области асимптотической части коды вычислялась ее огибающая. Затем строилась функция, равная сумме квадратов разностей экспериментальной огибающей и выражения (4), куда добротность входит как параметр. Затем производится дифференцирование этой функции по параметру, и значение производной приравнивается нулю. Таким образом, задача сводится к поиску экстремума сформированной функции. Решением полученного уравнения является искомая добротность.

На записях в конце шлейфа выбирались участки длительностью 20–25 с (на рис. 6, б показан пример выбранного участка шлейфа). На

рис. 6 приведены зависимости добротности среды от частоты для 4 пунктов наблюдений. Для разных пунктов наблюдений зависимость от частоты достаточно устойчивая и значение показателя степени находится в пределах $n \sim 0,98\text{--}1,1$. Аналогичные частотные зависимости с близкими показателями были получены и для других регионов [17]. При этом величина добротности среды изменялась от значения 30 для частоты 1 Гц до значений 1000 и более для частоты 25 Гц.

Необходимо заметить, что степенная зависимость добротности от частоты берется в силу того обстоятельства, что традиционно многие авторы рассматривают именно такую форму функциональной зависимости. Это объясняется тем, что на более низких частотах степенная зависимость более обоснована, чем в высокочастотной области. Мы рассматриваем данную форму для того, чтобы иметь возможность сравнивания наших результатов с результатами других работ.

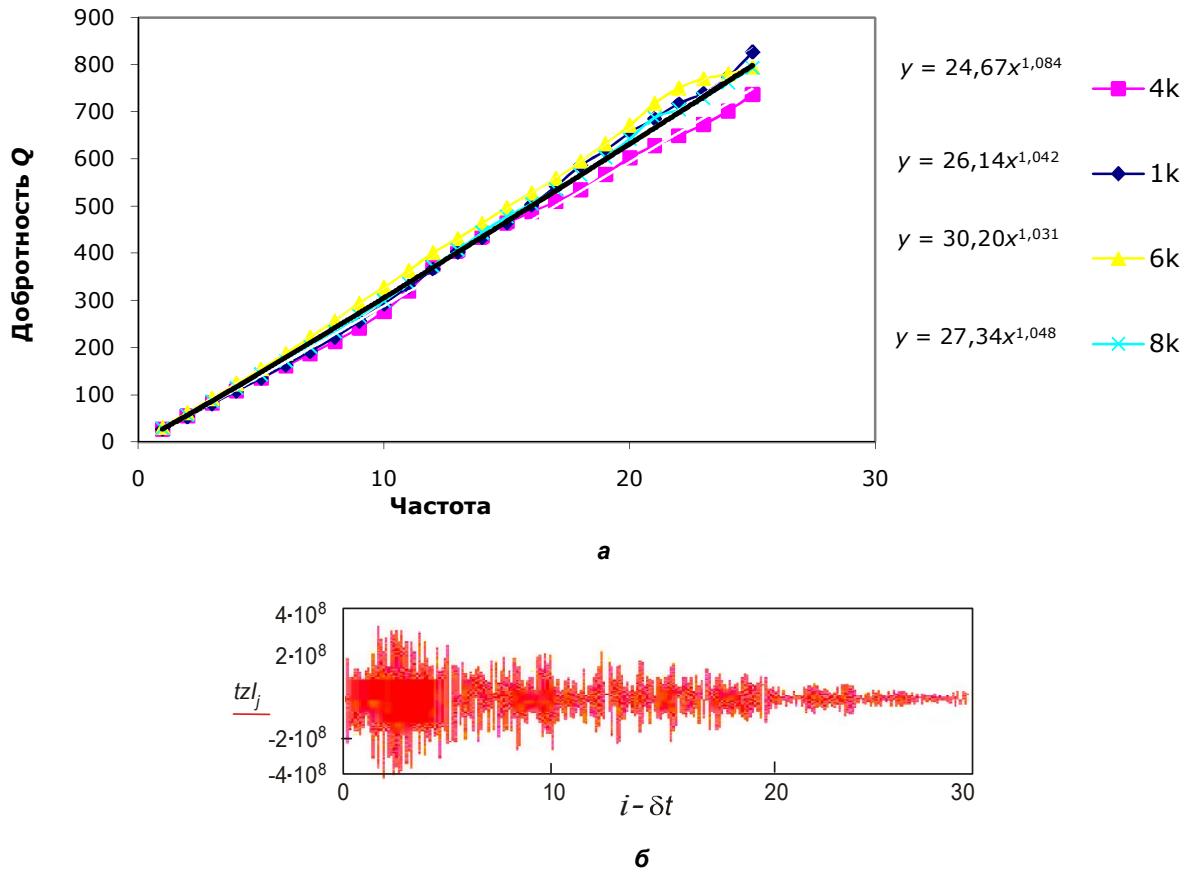


Рис. 6. Частотная зависимость добротности для пунктов наблюдений 1k, 4k, 6k, 8k (а). Приведены уравнения степенной зависимости от частоты. Пример выбранного участка шлейфа (б)

Зависимость поглощающих свойств среды и параметров микросейсм. Для определенных объемов среды ее резонансные свойства влияют на спектральную плотность проходящих через нее сейсмических волн, в том числе и мик-

росейсм. Наша задача состоит в оценке непосредственной связи микросейсм с параметрами затухания. Затухание или добротность, в свою очередь, связаны с геодинамической или тектонической активностью. Предположительно более

активные зоны имеют меньшую добротность, а менее активные зоны, соответственно, большую добротность. Эти рассуждения должны быть справедливы также и для локальных областей, которые рассматриваются в данной работе, так как геофизическая среда имеет блоково-иерархический характер [14].

Короткопериодные сейсмические шумы могут быть двояко связаны с добротностью среды.

Во-первых, могут изменяться спектральные свойства экзогенных шумов, зависящих от резонансных свойств среды. В свою очередь, резонансные свойства среды должны зависеть от характера инженерно-геологического разреза, который для более активных и менее активных участков должен быть разным. Таким образом, с добротностью среды должны быть связаны спектральные свойства шумов.

Во-вторых, более активные участки среды должны быть источниками эндогенных сейсмических шумов. Так что зоны с меньшей добротностью должны быть зонами активизации внутренних источников сейсмического шума. Данный случай наиболее интересен для нас, так как он связывает реакцию геологической среды на напряженное состояние, или, как говорят, тензочувствительность геологической среды, с наличием источников эндогенных сейсмических шумов.

Чтобы убедиться в сделанных предположениях, поступим следующим образом. Разделим изучаемый частотный диапазон на 5 интервалов: 0–5 Гц; 5–10; 10–15; 15–20 и 20–25 Гц. В каждом интервале будем рассчитывать осредненные значения спектральной плотности, среднего значения когерентности микросейсмического шума на вертикальной и горизонтальной компонентах и добротности, деленной на частоту (Q/f). Вычисления производились для 41 пункта наблюдения на участке примерно 2×2 км.

Когерентность между вертикальной и горизонтальной компонентами на записях временных реализаций микросейсм является индикатором активизации эндогенных источников [4]. Установлено также, что через когерентность прослеживается активизация эндогенных источников приуроченных к определенным фазам приливных деформаций [15].

Для каждого из выбранных частотных диапазонов рассчитывались коэффициенты корреляций между добротностью, вычисленной для данной частоты, и спектральной плотностью сейсмических шумов для этой же частоты, а также добротностью и когерентностью между вертикальной и горизонтальной компонентами (NS и EW) записи шума.

Микросейсмы регистрировались на тех же пунктах, что и взрывы. По возможности выбирались участки записи, ближайшие к началу записи взрыва. Взрывы производились 2 раза в сутки в 5 и 17 ч по мировому времени, что было благо-

приятно и для регистрации микросейсм, так как в это время наблюдается спад в интенсивности шумов антропогенного характера.

В каждом частотном интервале рассчитывалось 3 коэффициента корреляций для соответствующих совокупностей данных: добротность – спектральная плотность; добротность – когерентность $NS-Z$; добротность – когерентность $EW-Z$.

В табл. 3 приведены соответствующие корреляции для добротности (Q/f).

Таблица 3. Корреляция когерентности с добротностью среды

f, Hz	$Qp-Ep$	$Qp-CohNZ$	$Qp-CohEZ$
0–5	-0,51	0,18	-0,79
5–10	-0,13	0,16	-0,81
10–15	0,11	0,14	-0,82
15–20	0,02	0,11	-0,82
20–25	-0,17	0,12	-0,85

Объем выборки, по которой рассчитаны соответствующие коэффициенты корреляции, равен количеству пунктов наблюдений. Для гипотезы о нулевой корреляции составляем статистику $t = \sqrt{n-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}$, которая, как известно, имеет распределение Стьюдента с $n-2$ степенями свободы. При данном объеме выборки для коэффициентов корреляции, равных 0,22, значимость находится на уровне 0,7; для 0,29 – на уровне 0,85; для 0,35 – на уровне 0,985; для 0,5 значимость выше 0,99 и т. д.

Таким образом, исходя из табл. 3, можно сделать заключение: добротность коррелирована с уровнем спектральной плотности микросейсм для интервала частот до 5 Гц. В остальных частотных диапазонах корреляция незначимая. Корреляция со знаком «минус» означает, что чем выше добротность, тем ниже уровень микросейсм. Заметим, что основная энергия микросейсм доминирует именно в этом интервале частот. Средняя скорость поперечных волн до глубин 40 м для разных пунктов наблюдений, по сейсморазведочным данным, составляет 365–420 м/с. Это означает, что резонансные частоты, рассчитанные по соотношению (5), будут составлять 2,3–2,6 Гц и попадают в диапазон 0–5 Гц в табл. 3. Таким образом, значимая отрицательная корреляция спектральной плотности шумов в данном диапазоне частот с добротностью связана с резонансными свойствами верхней части разреза, или, иначе говоря, с инженерно-геологическим строением среды.

Корреляция добротности с когерентностью, как видно из табл. 3, устойчиво проявляется для направления EW , в то время как в направлении NS она незначима. Коэффициенты корреляции

возрастают с увеличением частоты от –0,79 до –0,85, а уровень значимости превышает 0,999. Это может означать, что в субширотном направлении по отношению к пунктам наблюдений имеются источники эндогенных сейсмических шумов когерентных в плоскости $Z-EW$.

Таким образом, результаты вычислений показали, что в некоторых диапазонах частот коэффициент корреляции добротности геологической среды со спектральной плотностью микросейсм имеет отрицательную величину. Это означает, что уровень микросейсм выше там, где среда менее консолидирована и более гетерогенна, так как добротность выше для сред с меньшей трещиноватостью и меньшим числом отражающих границ, разрывных нарушений и т. д.

Аналогичный вывод можно сделать относительно когерентности. Выявленная связь когерентности между горизонтальными и вертикальной компонентами с эндогенным микросейсмическим излучением, дает основание утверждать,

что добротность среды определяет степень активности внутренних источников микроизлучений, формирующих сейсмическую эмиссию. Чем выше гетерогенность среды, тем больше в ней внутренних элементарных излучателей, тем выше вклад в шумы эндогенной составляющей и тем ниже добротность среды и наоборот. Учитывая связь добротности с тектонической или геодинамической активностью, можно утверждать, что чем больше активность среды, тем больше вклад эндогенных микросейсм.

В результате выполненных исследований выявлены устойчивые связи некоторых параметров микросейсмического излучения с добротностью среды. Показано, что локальная инженерно-геологическая структура среды воздействует на тонкую структуру пространственного распределения высокочастотных сейсмических шумов.

Работа выполнена при поддержке проекта X08P-205 Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Литература

1. Аки К., Ричардс Р. Количественная сейсмология: Теория и методы. М., 1983. Т. 1.
2. Александров С. И., Мирзоев К. М. Мониторинг эндогенного микросейсмического излучения в районе Ромашкинского нефтяного месторождения // Проблемы геотомографии. М., 1997. С. 176–188.
3. Александров С. И., Рыкунов Л. Н. Шумовой мониторинг в Южной Исландии // Докл. РАН. 1992. Т. 326, № 5. С. 808–810.
4. Капустян Н. К., Юдахин Ф. Н. Сейсмические исследования техногенных воздействий на земную кору и их последствий. Екатеринбург, 2007.
5. Кишкина С. Б., Сероглазов Р. Р. Микросейсмические колебания в платформенных областях. Проблемы взаимодействующих геосфер // Сб. науч. тр. ИДГ РАН. М., 2009. С. 101–109.
6. Кишкина С. Б., Спивак А. А. Проявление резонансных свойств земной коры в микросейсмических колебаниях // Докл. РАН. 2003. Т. 623, № 8. С. 1013–1017.
7. Кондратьев О. К. Сейсмические волны в поглощающих средах. М., 1986.
8. Копничев Ю. Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М., 1985.
9. Копничев Ю. Ф. Сейсмические кода-волны. М., 1978.
10. Маламуд А. С. О возможности классификации землетрясений по длительности колебаний // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1964. № 5. С. 728–732.
11. Николаев А. В. Сейсмика неоднородных и мутных сред. М., 1972.
12. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. М., 1988.
13. Ризниченко Ю. В. Сейсморазведка слоистых сред. М., 1985.
14. Садовский М. А. О значении и смысле дискретности в геофизике // Дискретные свойства геофизической среды. М., 1989. С. 5–14.
15. Сероглазов Р. Р., Аронов А. Г., Колковский В. М., Аронова Т. И. Структура, пространственно-временные и частотные характеристики сейсмического шума на территории Беларуси // Літасфера. 2009. № 2(19). С. 85–94.
16. Спивак А. А., Кишкина С. Б. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды // Физика Земли. 2004. № 7. С. 35–49.
17. Gupta S. C., Kumar Ashwani. Seismic wave attenuation characteristics of three Indian regions: A comparative study // Current science. 2002. V. 82. № 4. P. 407–413.
18. Soloviev S. L., Kovachev S. A. On the determination of local magnitudes of near earthquakes from OBS observations // Acta Geophysica Polonica. 1980. Vol. XLII, №. 4. P. 247–280.

¹Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси,

²Институт динамики геосфер Российской академии наук

**P. P. Сероглазов, С. Б. Кишкина, А. Г. Аронов,
В. М. Колковский, Т. И. Аронова**

К ВОПРОСУ О СВЯЗИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДОЙ

Работа выполнена по материалам сейсмических наблюдений на территории Беларуси при поддержке проектов X08P-205 БРФФИ и 08-05-90013-Бел_а РФФИ. Проведено изучение характеристик и распределения сейсмических шумов совместно с параметрами поглощения и рассеяния сейсмических волн в геологической среде. Выявлено, что определенные изменения в спектральных параметрах микросейсмического излучения связаны с геодинамической и тектонической активностью, выраженной через добротность среды. Выявленные закономерности носят локальный характер и связанны с тонкой структурой распределения напряжений в среде.

**R. R. Seroglazov, S. B. Kishkina, A. G. Aronov,
V. M. Kolkovskiy, T. I. Aronova**

ON THE ISSUE OF SEISMIC NOISES WITH GEOLOGICAL MEDIUM LINK

The research was based on data of seismic observations made within the territory of Belarus and financially supported by grants from the Belarusian Foundation of Fundamental Research Project № X08P-205 and Russian Foundation of Fundamental Research Project № 08-05-90013 Bel.

The characteristics and distribution of seismic noises have been studied along with the parameters of the seismic wave absorption and dissipation in geological medium. Some changes in spectral parameters of microseismic emissions were determined to be due to the geodynamic and tectonic activity manifested in the medium quality. The regular features revealed are local in character and are associated with the fine structure of the stress distribution in the medium.

УДК 622.331:878

**Л. С. Лис, А. П. Гаврильчик, И. В. Агейчик, Т. И. Макаренко, В. Б. Кунцевич,
С. Т. Мультан, Л. П. Калилец, Т. А. Пискунова, Н. В. Шевченко**

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Выполнен анализ геоморфологических особенностей территории Минской области и различий в стратиграфии торфяных залежей ее различных регионов. Определены новые задачи по эффективному использованию торфяных ресурсов на ближайшую перспективу и обоснована возможность и необходимость перераспределения торфяных месторождений по целевым фондам. Уточнены и доработаны критерии выделения торфяных залежей по целевым фондам, выполнена работа по анализу торфяных месторождений всех административных районов области, в результате которой предложено увеличить составы разрабатываемого и природоохранного целевых фондов за счет имеющегося нераспределенного.

Торфяные ресурсы Республики Беларусь наравне с другими природными ресурсами имеют важное значение в экономике страны. Помимо традиционного топливного назначения торфяные месторождения широко используются в качестве сельскохозяйственных угодий, как уникальные природные образования выполняют важную роль в природоохранных объектах, благодаря специфике своего компонентного состава являются исходным сырьем для производства целого комплекса новых наукоемких продуктов широкого назначения.

Современные реалии экономического развития республики выдвигают новые задачи в использовании данного ресурса. Кроме определенного увеличения энергетического использования как местного вида топлива, предполагается развитие новых инновационных производств по термохимической и химико-биологической переработке торфа с получением широкой номенклатуры новой продукции промышленного, сельскохозяйственного, медицинского и бытового назначения. В этой связи в настоящее время выполняется работа по составлению «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2020 года».

Влияние геоморфологических условий области на формирование торфяных месторождений. Многообразие геоморфологических условий Минской области [1, 2] явилось одним из важнейших природных факторов, определяющих особенности генезиса и качественного состава торфяных залежей, что четко прослеживается при исследовании торфяных месторождений, расположенных в различных районах области. В ее северной части в условиях грядово-краевых моренных образований преобладают торфяные месторождения котловинного залегания, такие, как Заостровское, Дергуново, Ходневщина, Кочаны. Это небольшие по площади залежи, расположенные в межморенных впадинах [3, 10]. Особенностью таких залежей является большая

максимальная глубина при общей средней 1,5–2,0 м. Здесь преимущественно распространены эвтрофные типы залежей, однако встречаются и верховые, например в Мядельском районе таких 12 %, в Вилейском – 8 %. Большинство из этих залежей имеют сложную стратиграфию, сочетающую эвтрофные и олиготрофные типы. Такие торфяные месторождения пригодны для сельскохозяйственного использования и организации добычи торфа для компостирования или для производства коммунально-бытового топлива. Торфяные месторождения верхового типа могут быть пригодны для термохимической переработки, однако они территориально разрознены.

При переходе на Нарочанскую равнину количество верховых месторождений уменьшается, уступая место низинным с большими площадями (более 500 га). Здесь в условиях холмисто-моренного слаженного рельефа встречаются крупные округлые или удлиненные депрессии, в которых образовались торфяные месторождения, такие, как Габы, Синюха, Чистец. Обильное водно-минеральное питание благодаря развитой гидрологической сети обеспечивало образование низинных типов залежей достаточно сложной стратиграфии. Периферийные участки торфяных массивов сложены в основном древесными видаами торфа, дно массивов – либо сапропелем, либо мергелем, либо малоразложившимся гипновым или осоково-гипновым торфом. Дальше донные слои покрыты осоковым или древесно-осоковым торфом большой мощности (до 2,5 м) со степенью разложения до 30 %. Часть месторождений этой группы обладает значительными запасами торфа низинного типа, что может быть пригодным для топливного направления использования. Встречающиеся залежи незначительной площади в большей степени подходят для использования в качестве сельхозугодий, причем на долгосрочный период за счет глубины торфа.

Большая часть территории области расположена в зоне Центрально-Белорусской возвы-

шленности и гряд. Здесь, в межморенных котловинах и западинах, образовались небольшие по площади (до 500 га) торфяные месторождения низинного типа: Ковалево, Колодки, Порсы. В западной части этого региона, приуроченной к Вилейской низине, отмечаются большие по площади залежи: Глухая Пуща, Чисть, Березинское. Такие месторождения имели отдельные глубокозалежные участки (глубиной 5–6 м), однако к настоящему времени они в основном выработаны.

Южнее, в сторону Столбцовской равнины, заторфованность территории снижается. Торфяные месторождения характеризуются большой площадью: Урочище Заболотье, Бортениха, но малой (1,5–2 м) глубиной торфа. Такие месторождения пригодны в большей степени для использования в сельскохозяйственных целях.

Южные районы области (Дзержинский, Коцюльский, Узденский и Столбцовский) приурочены к бассейну Немана, имеют сравнительно большую заторфованность. Здесь в условиях камовых и моренных холмов на междуречьях многочисленных небольших рек образовались проточные ложбины шириной 2–3 км и длиной до 15 км, зародились торфяные месторождения проточных котловин. Начало их развития связано с небольшими озерами и богатым грунтовым питанием. Для данного региона характерно чередование как крупных, так и малых по площади торфяных месторождений: Клапытичи, Бабаево-Дунайское, Загороды. Эти месторождения в основном осушены и используются в сельскохозяйственном направлении, хотя многие из них подходят для использования в топливном варианте (низинный торф высокой степени разложения).

Северо-восточная часть области относится к Восточно-Белорусской подобласти. Здесь (Борисовский и Крупский районы) в условиях холмисто-моренного рельефа тофяные месторождения зарождались в заболоченных межхолмовых понижениях и глубоких озерных котловинах термокарстового происхождения. Наравне с небольшими по площади месторождениями – Змеевка, Осовское – в этом регионе распространены и достаточно крупные: Цна, в пойме р. Эсса и др. Образование большинства из таких месторождений связано с котловинами озер, что предопределило их мезотрофный тип с небольшим преобладанием олиготрофной составляющей.

Восточные районы области (частично Крупский, Березинский, Червенский) относятся к геоморфологической области равнины и низин Предполесья и охватываются озерно-аллювиальной Центрально-Березинской равниной. Здесь встречаются мощные торфяные месторождения, объединившие небольшие мелководные озера с выходом во многих местах грунтовых вод. Это в основном месторождения низинного типа с отложениями осоково-гипнового и осокового торфа больших мощностей (более 2 м), яв-

ляющиеся сырьевыми базами торфопредприятий. Такие месторождения, как Красное, Студенка, Усяж, в настоящее время значительно выработаны.

Самая восточная часть региона, относящаяся к бассейнам восточных притоков р. Березина, в значительно большей степени представлена крупными верховыми залежами водораздельного залегания: Великое, Бруслевское, Пойма р. Можа, Туршовка-Чертово. Имеются здесь также и многочисленные торфяные месторождения небольшой площади (50–150 га). Такие месторождения могут быть использованы как сырье для производства грунтов, подстилочных и упаковочных материалов, избирательно для красителей, биологически активных препаратов.

Юго-восточная часть области (Пуховичский, Стародорожский, Слуцкий и частично Солигорский и Любанский районы) также входит в регион пологоволнистых равнин (Пуховичская равнина). Поверхность местности характеризуется довольно значительными по площади выпуклыми участками донной морены, что способствовало образованию крупных верховых и низинных торфяных месторождений, часто подстилаемых значительным слоем озерных отложений (до 2,5 м). Сглаженность рельефа местности и слабые уклоны обусловили широкую заторфованность междуречий, а постепенная смена водно-минерального питания привела к образованию смешанных типов залежей – в начале низинные со сменой на верховые. Это торфяные месторождения: Гало-Ковалевское, Кобылицкое, Клетинское и др. В регионе преобладают низинные залежи преимущественно (около 70 %) значительной глубины (до 4 м). Имеются также залежи с верховым и смешанным типами торфа. Часто торфяные месторождения представляют собой сложные системы, состоящие из отдельных в прошлом массивов, впоследствии объединившихся (например, Ореховский Мох и Птичья). Такая группа месторождений, особенно с большими запасами торфа, пригодна для использования в топливных целях и также может быть сырьем для производства ингибитора коррозии, биологически активных препаратов.

Крайняя южная часть области входит в состав низинного Припятского Полесья (Солигорский и Любанский районы), характеризующегося равнинным рельефом. На этой территории, приуроченной к Солигорской равнине, преобладают крупные по площади торфяные месторождения преимущественно низинного типа. Торфяные месторождения в условиях сглаженного рельефа имеют сложную конфигурацию, средняя глубина торфа составляет не более 1,5 м. Низинные торфяные залежи в данном регионе составляют порядка 80 %, верховые – не более 2 %, смешанные и переходные – около 15–20 %. Здесь образовались достаточно крупные по площади и

запасам торфяные месторождения, например в Солигорском районе таких 22, в Любанско – 12. К ним относятся торфяные месторождения Гумино, Завишицкий Канал, Гричино Сторобинское, Дубровское, Загальский Массив. В этом регионе также образовалось значительное количество малых по площади торфяных массивов. После длительного использования в сельском хозяйстве они полностью превратились в торфоболотные почвы и в настоящее время должны быть исключены из торфяного фонда.

Верховые залежи развивались преимущественно на низинных залежах. Их зарождение происходило с накопления слоя пущевого или пущево-сфагнового торфа, с последующим накоплением пущевого или магелланум-торфа повышенной степени разложения. В силу обильности водного стока по условиям рельефа местности мощных торфяных залежей олиготрофного типа в этом регионе не образовалось.

В стратиграфии низинных залежей, особенно в верхних слоях, преобладают в основном виды торфа травяной и травяно-моховой групп, а в придонных слоях встречаются лесотопянные виды, иногда с озерными отложениями в виде мергеля и сапропеля. Такие торфяные месторождения могут частично использоваться в топливных целях (преимущественно для коммунально-бытовых потребителей), как сельхозугодия для крупных сельскохозяйственных предприятий.

Таким образом, геоморфологический анализ торфяного фонда Минской области свидетельствует о наличии в нем широкого спектра типов и видов торфа, обладающих довольно обширным диапазоном качественных и количественных характеристик.

Современное состояние и характеристика торфяного фонда. Выполненное при разработке «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года» [10] распределение по целевым фондам, в общем плане закрепляло направления использования торфяных месторождений на последующий период. Реальное же использование определялось потребностью и приоритетами в потребности в этих ресурсах. Так, в «Схеме...» был взят курс на постепенное снижение топливного использования торфа, на сокращение сельскохозяйственного использования, на внедрение ресурсосберегающих технологий его освоения. Представленное на рис. 1 распределение торфяных ресурсов по целевым фондам отражает реалии в приоритетных потребностях до 90-х гг. прошлого столетия. Обращает внимание высокая доля земельного и неиспользуемого фондов, незначителен разрабатываемый фонд, который к настоящему времени существенно выработан. На период утверждения

«Схемы...» доля торфяных месторождений в природоохранном фонде была низкой (7 %), но в последнее время проведена значительная работа по его пополнению. Добыча топливной торфяной продукции установилась на протяжении последнего десятилетия на уровне 2,3–2,5 млн т, преимущественно на нужды брикетного производства. Другие виды продукции (кусковой торф, подстилочный торф, торфяные грунты различного назначения) составили не более 8–10 % добываемого торфа, объемы приготовления компостов не превышали 300–500 тыс. в год.

Распределение общетехнических характеристик торфяного фонда области представлено на рис. 2. Максимальное количество торфяных месторождений приходится на площадь в пределах 100–500 га (49 %), несколько меньше – в диапазоне 50–100 га (29 %). Процент крупных торфяных месторождений в области довольно низкий: площадью 500–1000 га – 11 %, и площадью более 1000 га – 9 % (рис. 2, а).

Распределение количества месторождений по запасам торфа (рис. 2, б) подчиняется затухающему характеру – максимальное количество торфяных месторождений приходится на запасы до 100 тыс. т (52 %), достаточно большое количество также торфяных месторождений с запасами пригодными для строительства торфопредприятий – 10 %, что и было реализовано в предыдущие годы. В области работает 10 торфопредприятий, среди которых крупнейший в республике брикетный завод «Старобинский».

Анализ торфяных месторождений по глубине залежи показывает (рис. 2, в), что максимальное количество их приходится на глубину залежи 1–2 м (78 %), а глубокозалежных (более 4 м) месторождений в области только три.

Распределение торфяных месторождений по степени разложения торфа приближается к нормальному закону, исключение составляет торф низкой (до 15 %) степени разложения (рис. 2, г). Максимальное количество торфяных месторождений (31,3 %) приходится на диапазон степени разложения 36–40 %. Количество залежей высокоразложившегося торфа (40–50 % и более) также значимо (30,8 %).

Распределение месторождений по зольности (рис. 2, д) показывает, что максимум по этому показателю (33,6 %) приходится на диапазон $A^c = 12\text{--}20\%$. С позиций комплексного использования интерес представляют запасы низкозольного торфа: такого ($A^c \leq 3\%$) имеется 7,1 %, а с зольностью в интервале 3–5 % – 10,3 %. Этот интервал в большей степени касается верхового торфа.

Современное состояние торфяных месторождений области характеризуется следующими данными.

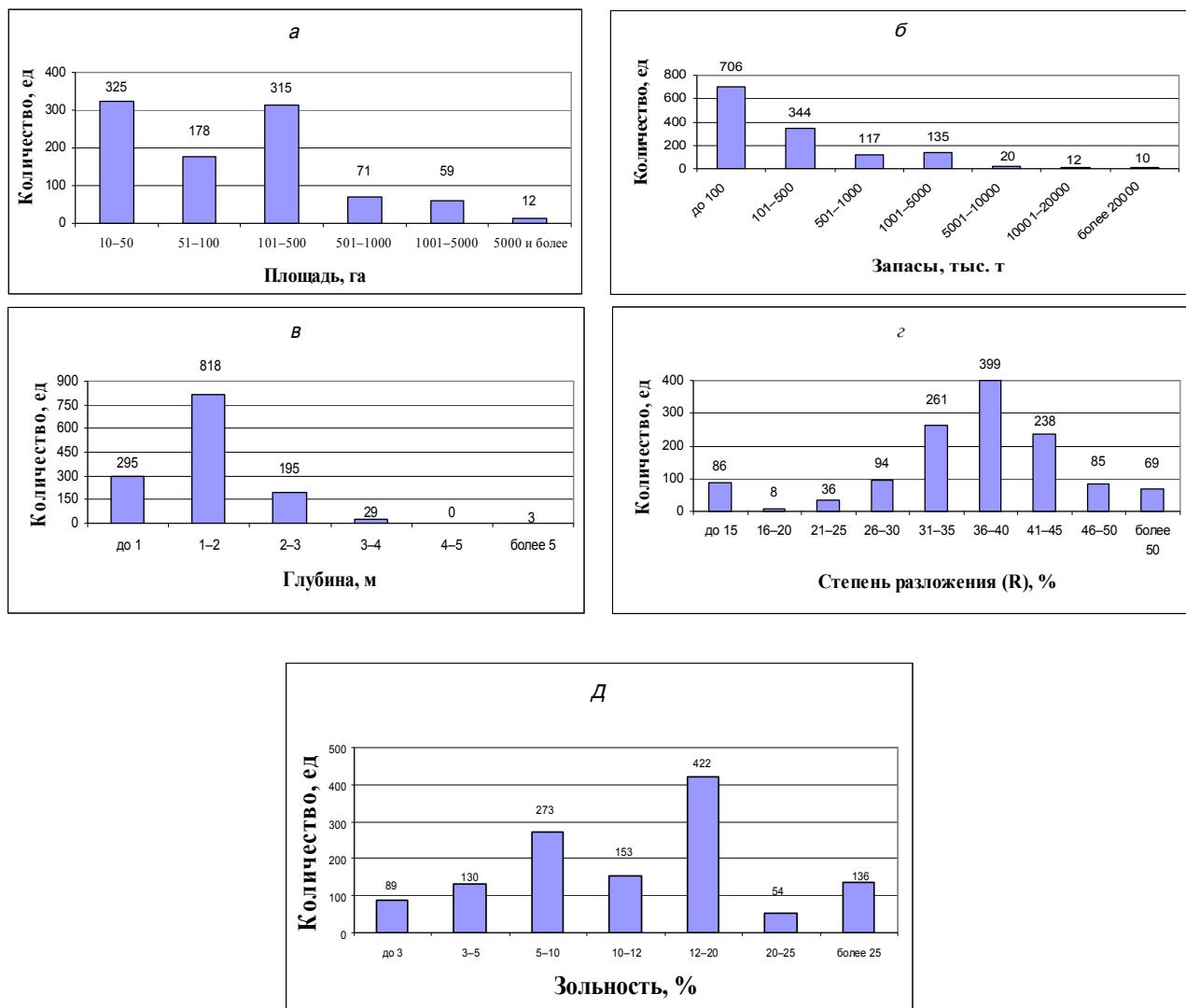
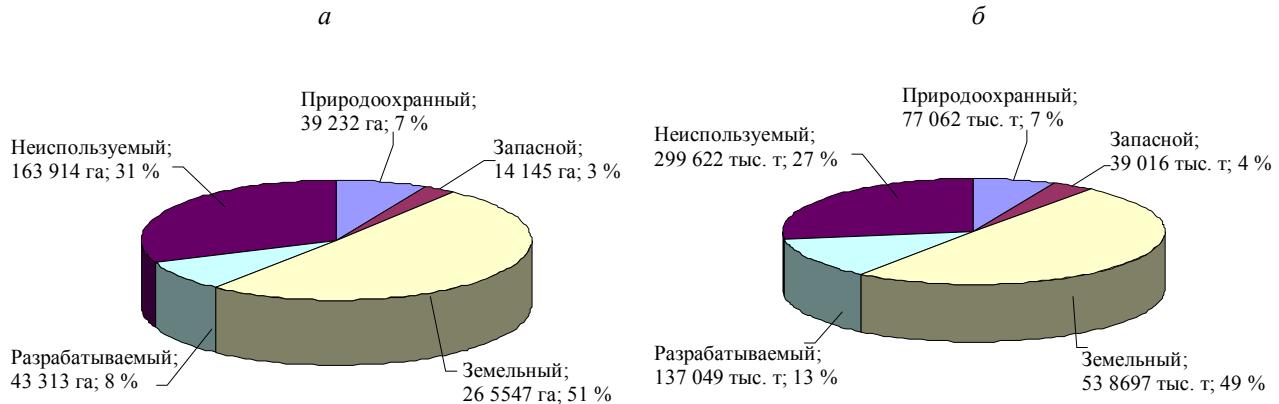


Рис. 2. Распределение торфяных ресурсов Минской области по площади (а), запасам (б), средней глубине (в), степени разложения (г) и зольности торфа (д)

Всего в области находится 1277 торфяных месторождений, из которых осушено 45,7 %, причем открытой сетью 24,3 %, остальные – дренажем. В естественном состоянии частично или полностью находятся торфяные месторождения общей площадью 137 052 га. Наибольшее количество таких месторождений расположено в Березинском, Логойском и Мядельском районах, есть районы с очень низкой долей сохранившихся в естественном состоянии месторождений – Любанский, Несвижский, Смолевичский, Стародорожский и Червенский, где эта доля составила менее 1 %, т.е. практически все месторождения подверглись техногенному воздействию.

Из всех запасов земельного фонда в сельскохозяйственном использовании (луговые земли, частично пашня) находится 28 %, в лесохозяйственном – 25 %. Выбывшие из эксплуатации торфяные месторождения в области составляют порядка 77 990 га (данные Белгипролес), причем наибольшее их количество приходится на Солигорский район, значительные объемы таких площадей есть в Пуховичском, Смолевичском, Копыльском и Слуцком районах. На территории области находятся крупные особо охраняемые территории: Национальный парк Нарочанский, Березинский биосферный заповедник, Налибокский ландшафтный заказник, гидрологический заказник «Селява» и ряд объектов местного значения. Сюда входят 156 торфяных месторождений, на которых сохраняется заповедный режим. Часть месторождений после выработки торфа затоплено, среди них выделяются «Любанское», «Вилейское», «Краснослободское» и «Заславльское» водохранилища.

Новые задачи в освоении торфяного фонда, отраженные в ряде нормативно-распорядительных документов [4, 9], определили приоритетные направления в области использования торфяных ресурсов республики. Поставлена задача не только существенно увеличить объемы добычи торфа как местного вида топлива [2], но и развить «альтернативные» направления его использования, заключающиеся в создании новых инновационных производств глубокой термохимической и биохимической переработки торфяного сырья с получением широкой номенклатуры новых научкоемких и импортозамещающих продуктов для промышленного, сельскохозяйственного, бытового и медицинского использования [6, 7]. Это опробованные в мелко- и среднесерийных производствах органоминеральные и торфогуминовые удобрения, биологически активные стимуляторы роста, фунгицидные препараты, кормовые добавки, консерванты кормов, сорбционные материалы многоцелевого назначения, торфяной воск различных модификаций, красители и ингибиторы коррозии, защитные кремы, лекарственные препараты и ряд других продуктов.

Производства по выпуску такой разнообразной продукции достаточно избирательны к качественным характеристикам исходного сырья, что требует многосторонних и обоснованных подходов при выборе пригодных для этих целей торфяных месторождений.

Поставленные задачи требуют, в первую очередь, оценки оставшегося торфяного фонда в республике как с позиций его запасов, так и с позиций избирательности его по качественным характеристикам. Решение этих задач может быть реализовано путем оценки современного состояния и использования торфяных месторождений, установления современных требований к составу торфяного фонда и научно обоснованному подходу к перераспределению его по целевым фондам, согласно новым требованиям и потребностям. При этом, в первую очередь, необходимо увеличить состав разрабатываемого фонда для выбора сырьевых баз по организации добычи торфа для новых направлений использования. Конечной практической задачей является разработка, согласование и утверждение новой «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь до 2020 года». Необходимо обосновать современные приоритеты в использовании торфяных ресурсов республики, провести ревизию и доработать, согласно требованиям сегодняшнего дня, критерии распределения торфяных месторождений по целевым фондам, усовершенствовать изменившиеся методические подходы и дополнительные требования. С этой целью был разработан нормативный документ «Методические рекомендации по оценке современного состояния торфяных месторождений и уточнению критериев их распределения по целевым фондам» для разработки «Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период 2010–2020 годы», согласованный с заинтересованными организациями и утвержденный в Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Национальной академии наук Республики Беларусь. Работа по перераспределению торфяных месторождений проводится по всем административным районам области в несколько этапов, анализу подлежали объекты, входящие в состав существующих неиспользуемого и земельного фондов.

Перераспределение состава целевых фондов. Первоначально из перечня исключаются мелкоконтурные торфяные месторождения (площадью менее 10 га), мелкозалежные (глубиной менее 1,3 м) и зазоленные (зольностью более 25 %). При анализе (экспертизе) не рассматриваются торфяные месторождения, включенные в природоохраненный фонд.

На втором этапе при анализе с использованием картографического материала из остав-

шегося перечня выделяются торфяные месторождения или их участки в разрабатываемый фонд с учетом имеющихся критериев. Природоохраный фонд пополняется на данной стадии за счет части торфяных месторождений, составляющих водоохранные зоны и прибрежные полосы водных объектов. При этом обводненные и закустаренные территории, не представляющие интереса для практического использования, оставляются или переносятся в неиспользуемый фонд.

Работа по перераспределению торфяных месторождений носит экспертный характер, так как при принятии решений по принадлежности анализируемых объектов к тому или иному целевому фонду, помимо прямого учета существующих критериев, необходимо принимать во внимание ряд дополнительных показателей или обстоятельств: прогнозная потребность региона в торфяной продукции, экологическая и гидрологическая роль объекта в территориальной системе, существующая инфраструктура и транспортная сеть, численность населения, наличие рабочей силы, развитие предпринимательской деятельности и др.

Таким образом, на основании анализа всех торфяных месторождений Минской области предложено перераспределение состава целевых фондов (табл. 1).

В результате работы предложено увеличение разрабатываемого фонда в большинстве административных районов, при этом наибольший прирост составил для Вилейского (12,4 раза), Дзержинского (10 раз) и Солигорского районов. По ряду районов виду истощения запасов торфа вследствие добычи фонд существенно уменьшился по сравнению с начальным и резервов для пополнения нет: Крупский (1,5 раза), Смолевичский (2,6 раза), Пуховичский (1,3 раза). Всего по области разрабатываемый фонд предложено увеличить на 19,3 %, что составляет 10 170 тыс. т запасов.

Предложено также увеличить природоохранный фонд за счет выделения водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов, причем это может быть реализовано по всем административным районам области и суммарно составит 10,7 % по запасам. Предложено также незначительное общее увеличение земельного фонда в размере 6 %, хотя по некоторым районам выполнено изъятие части его площадей в

разрабатываемый. Это Копыльский, Крупский, Логойский, Минский, Мядельский и Слуцкий районы. Предложенное пополнение разрабатываемого, природоохранного и земельного фондов осуществлено из запасов неиспользуемого фонда, который уменьшен на 65 %.

В исходную базу разрабатываемого фонда входит перечень торфяных месторождений с широким интервалом количественных и качественных характеристик, определяемых большим набором возможной продукции из добываемого торфяного сырья. Ответственным этапом выполненной работы является выбор из определенного в разрабатываемый фонд перечня торфяных месторождений, пригодных для глубокой комплексной переработки с получением нетрадиционной продукции. В такую категорию разрабатываемого фонда к пригодным относятся торфяные месторождения с минимальными извлекаемыми запасами более 20 тыс. т, при удовлетворении дополнительным требованиям по этим объектам: тип и вид торфа, степень разложения и зольность, компонентный и химический состав. Привлекается также картографический материал и данные выполненных геологических разведок. Использование таких данных при анализе позволило установить возможные варианты [1] комплексной переработки торфа (рис. 3). Отметим, что производства по выпуску нетрадиционной продукции целесообразно привязывать к крупным торфопредприятиям, занимающимся добычей и переработкой торфа. Возможна организация таких производств на границе близкорасположенных торфяных месторождений.

Предложенное перераспределение торфяных месторождений по целевым фондам в первую очередь обеспечивает торфянную отрасль республики обоснованно выбранными, согласно установленным требованиям, сырьевыми базами для организации увеличенных объемов добычи торфа. Кроме того, выполненная работа по выбору перспективных для комплексного использования торфяных месторождений с установлением вариантов производств определенных групп новой нетрадиционной продукции открывает перспективу организации таких производств, которые, как показывают расчеты, имеют существенные экономические преимущества перед традиционными направлениями использования торфа.

Таблица 1. Предложения по перераспределению запасов торфа Минской области по целевым фондам

Район	Количество торфяных месторождений		всего	Запасы торфа по целевым фондам, тыс. т								
	всего	распределяемых		существующие				предлагаемые				
				природоохран- ный	разрабы- тываемый	земельный	неисполь- зуемый	природоохран- ный	разрабы- тываемый	земельный	неисполь- зуемый	
Березинский	99	47	24 491	554	2857	5058	16 022	5885	3207	12 612	2787	
Борисовский	173	98	53 312	25 479	3688	13 773	10 372	30 441	2759	16 707	3405	
Вилейский	62	30	33 528	2883	301	11 404	18 940	4292	4038	17 657	7541	
Воложинский	9	6	7024	2869	832	1747	1576	3463	817	2254	490	
Дзержинский	44	26	8208	46	230	6107	1825	1470	2396	3683	659	
Клецкий	14	12	21 359	0	1434	15 750	4175	3750	1328	15 667	614	
Копыльский	32	16	21 563	1055	557	19 769	182	2656	4443	14 263	201	
Крупский	159	67	65 067	18 142	7728	22 752	16 445	38 242	4896	17 827	4102	
Логойский	39	23	25 853	0	365	16 460	9028	4759	3462	13 911	3721	
Любанский	49	29	61 993	875	378	54 077	6663	3500	2677	52 178	3638	
Минский	71	32	25 244	99	251	20 508	4386	1674	1471	18 150	3949	
Молодечненский	18	9	23 783	105	675	18 210	4793	2254	989	18 279	2261	
Мядельский	32	25	86 324	20 140	1067	34 575	30 542	50 823	2813	26 377	6311	
Несвижский	23	10	4349	0	334	3855	160	631	583	3109	26	
Пуховичский	144	77	127 508	18 459	18 314	30 250	60 485	31 253	13 586	60 128	22 541	
Слуцкий	114	29	14 081	0	618	10 128	3335	2416	2415	7715	1535	
Смолевичский	33	24	30 525	6392	6581	8346	9206	5189	2515	17 380	5441	
Солигорский	56	16	54 509	1539	0	41 640	11 330	3100	2531	43 840	5038	
Стародорожский	61	29	33 360	3523	301	19 897	9639	11 576	1518	17 260	3006	
Столбцовский	33	18	16 969	664	2672	11 443	2190	8449	1092	6303	1125	
Узденский	27	22	15 166	582	286	12 255	2043	2696	853	11 309	308	
Червенский	70	46	32 928	6441	3110	13 333	10 044	8649	2357	18 324	3598	
ВСЕГО:	1362	691	787 144	109 847	52 579	391 337	233 381	227 168	62 746	414 933	82 297	

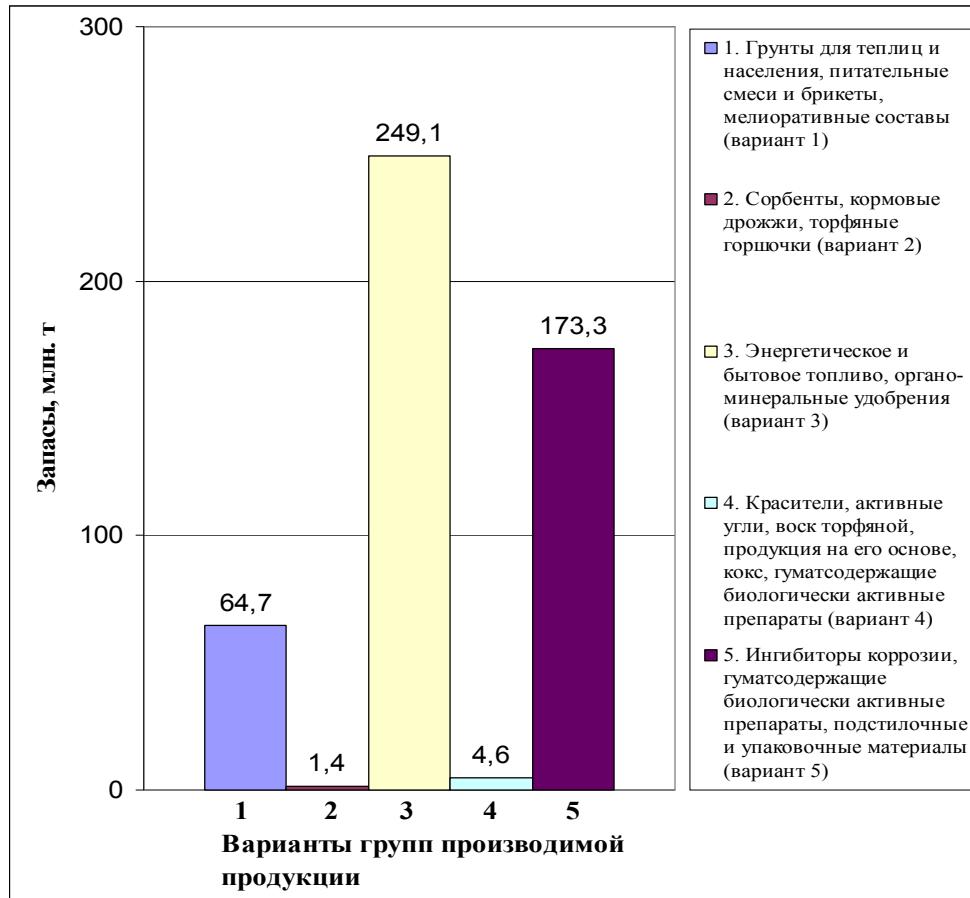


Рис. 3. Запасы торфа Минской области, пригодного для производства групп продукции при глубокой его переработке

Литература

- Гаврильчик А. П., Лис Л. С., Макаренко Т. И. и др. Направления эффективного использования торфяных ресурсов Гродненской области // Природопользование. Вып. 18. Минск, 2010. С. 192–199.
- Государственная программа «ТОРФ» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года. Минск, 2008.
- Кадастровый справочник. Торфяной фонд Белорусской ССР. Минск, 1978.
- Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433.
- Левков Э. А., Матвеев А. В., Махнач Н. А. и др. Геология антропогена Беларуси. Минск, 1973.
- Лиштван И. И. Проблемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов в БССР. Общество «Знание». Минск, 1985.
- Лиштван И. И. Состояние и перспективы комплексного использования торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве Белоруссии: Экспресс-информация. Минск: БелНИИТИ, 1977.
- Нацыянальны атлас Беларусі. Мінск, 2002.
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 26 декабря 2006 г. № 1726 «Об утверждении плана мероприятий по использованию в республике местных топливно-энергетических ресурсов».
- Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР (Брестская, Витебская, Гомельская, Гродненская, Минская, Могилевская области): Справ. Минск, 1990.

*Л. С. Лис, А. П. Гаврильчик, И. В. Агейчик, Т. И. Макаренко, В. Б. Кунцевич,
С. Т. Мультан, Л. П. Калилец, Т. А. Пискунова, Н. В. Шевченко*

**ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ
ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Приведено описание геоморфологии рельефа и торфяных месторождений отдельных частей территории Минской области, отличающихся особенностями генезиса процессов торфообразования. Обсуждены новые задачи в проблеме использования торфяных ресурсов, поставленные современными экономическими условиями, обоснованы пути их реализации. Разработаны предложения по перераспределению торфяных ресурсов по целевым фондам, обеспечивающие пополнение составов разрабатываемого и природоохранного фондов. Из состава разрабатываемого фонда составлены перечни пригодных для глубокой комплексной переработки торфяных месторождений, установлены варианты такого использования.

*L. S. Lis, A. P. Gavrilchik, I. V. Ageichik, T. I. Makarenko, V. B. Kuntsevich,
S. T. Multan, L. P. Kalilets, T. A. Piskunova, N. V. Shevchenko*

**SUBSTANTIATION OF TRENDS OF EFFECTIVE EXPLORATION
OF PEAT RESOURCES OF MINSK REGION**

A description of geo-morphological relief and peat deposits of separate territories of Minsk region has been given, differing with peculiarities of peat formation processes genesis. New tasks in the problems of peat resources use have been discussed, put by modern economical conditions, ways of their realization have been substantiated. Proposals for redistribution of peat resources by target funds have been developed, providing replenishment of compositions of the developed and the nature protective funds. The composition of the developed fund served as a basis for compilation of lists matching profound complex peat deposits processing, variants for these utilization have been stated.

УДК 550.4:551.3(476)

В. А. Рыжиков, Ю. А. Романкевич, Д. Ю. Городецкий, Г. М. Бокая

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН ГОРОДОВ С РАЗЛИЧНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Приведены результаты пространственного распределения минеральных водорастворимых веществ в почвах функциональных зон городов, отличающихся техногенной нагрузкой. Проанализированы причины пространственной неоднородности содержания водорастворимых веществ в почвенном покрове городских территорий.

В природных условиях поступление минеральных водорастворимых веществ в почвы происходит с атмосферными осадками, содержащими пыль, соли морских и океанических вод, иногда с высокоминерализованными грунтовыми водами, которые подтягиваются по капиллярам почв к их поверхности в засушливый период времени, где в виде кристаллизованных солей аккумулируются на испарительном геохимическом барьере [9]. Эти процессы и связанное с ними засоление почв достаточно хорошо изучены в регионах Средней Азии, в Казахстане, на юге Западной Сибири Б. Б. Полыновым [12], В. А. Ковдой [8], А. И. Перельманом [9], М. А. Глазовской [3], Н. И. Базилевич [2] и др. На территории Беларуси такие явления встречаются достаточно редко, поскольку в условиях гумидного климата характерен промывной режим почв. Поступление минеральных водорастворимых веществ, обогащенных кальцием и магнием коренных карбонатных пород, в почвы с грунтовыми водами, наблюдается лишь на юге страны в Белорусском Полесье, где в результате осушительной мелиорации изменился гидрологический режим почв [5].

Для зон с интенсивной техногенной нагрузкой характерен иной тип поступления минеральных водорастворимых веществ в почвы, который связан, главным образом, с аэрозольными путями миграции и с поверхностным стоком. Вопросам изучения содержания водорастворимых веществ в почвах в зонах влияния калийных производств и крупных химических комплексов в разные годы занимались Н. И. Туренков, П. Ф. Жигарев [15], В. С. Хомич [17], С. Е. Головатый [4] и др.

В городах, которые также являются зонами с высокой техногенной химической нагрузкой, различными авторами рассматриваются вопросы засоления почв в зонах влияния промышленных предприятий [18], биологических очистных сооружений, полигонов промышленных отходов [16, 17]. В последние годы выполнен ряд работ по изучению содержания водорастворимых веществ в почвах вдоль городских улиц, в которых основное внимание уделено конкретным ионам, как правило, хлоридам, и натрию, наиболее ток-

сичным для растений [11, 13, 14]. В то же время нет четких представлений о полном составе водорастворимых веществ, присутствующих в почвах на территории городов, характеризующихся разной техногенной нагрузкой, а также об их соотношении в различных функциональных зонах.

Основными источниками поступления водорастворимых веществ в почвы на территории городов республики являются атмосферные выпадения, промышленные и бытовые отходы. Так, на территории г. Минска с атмосферными осадками выпадает около 1,58 кг/км²/сут серы, 1,04 кг/км²/сут окисленного азота [6], а их абсолютные значения в среднем превышают фон в 2,2–1,4 раза соответственно. На почвы вдоль городских улиц дополнительно воздействуют противогололедные соли, которые в больших количествах применяются на дорогах в зимнее время.

Цель исследования – выявить особенности распределения основных минеральных водорастворимых веществ в почвах в разных функциональных зонах городов с различной техногенной нагрузкой.

Методика и объекты исследования. В качестве объектов исследования выбраны: г. Минск как крупный промышленный город, г. Смолевичи как агропромышленный и г. Несвиж как туристско-рекреационный город. Данные города отличаются размерами, специализацией производства и, как следствие, уровнем техногенной нагрузки.

При выполнении исследований учитывались ландшафтная структура города, функциональное зонирование территории, местоположение источников загрязнения, возможные аэрозольные и водно-потоковые пути миграции загрязняющих веществ, предполагаемые участки аккумуляции загрязнителей. Отбор проб почв производился ручным буром с глубины 0–10 см. Почвенные пробы формировались из 5–7 точечных уколов. На территории г. Минска в пределах транспортной зоны пробы почв отбирались, перпендикулярно дорожному полотну до глубины 1 м на расстоянии 1, 2, 5, 10, 15, 25 м от него. Количество проб отобранных в каждой из функциональных зон городов варьировало от 10 до 30.

Определение содержания основных ионов в водных вытяжках из почв выполнено по общепринятой методике по соотношению почва: раствор 1:5 [1]. Расчет состава «гипотетических солей», присутствующих в почве, осуществлялся по [2].

Согласно педохимическому районированию, исследуемые города расположены в пределах Центральной педохимической провинции и Новогрудско-Слуцко-Минского педохимического района [10]. Минск и Смолевичи приурочены к Минскому педохимическому подрайону, где преобладают дерново-подзолистые супесчаные и суглинистые почвы на моренных, лессовидных и флювиогляциальных отложениях. Несвиж относится к Новогрудско-Слуцкому педохимическому подрайону с преобладанием дерново-подзолистых (палевых) почв, сформированных на лессовидных суглинках и супесях.

Для дерново-подзолистых почв, формирующихся в автоморфных условиях и расположенных вне зоны влияния крупных промышленных производств, содержание минеральных водорастворимых веществ по разным данным составляет: гидрокарбонатов – 20 мг/кг, хлоридов – 10, сульфатов – 10, кальция – 30, магния – 5, натрия – 10, калия – 5 мг/кг [15, 17].

Таблица 1. Содержание водорастворимых веществ в поверхностном слое почв (0–10 см) на территории городов, мг/кг

Город	Показатель	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Сумма солей
Минск	Минимум	61,0	8,5	1,0	5,0	4,5	2,5	5,0	205,6
	Максимум	1342,0	230,5	160,0	270,5	80,2	305,0	210,0	2074,0
	Среднее	443,5	40,9	37,6	85,9	24,9	38,3	58,4	731,9
Смолевичи	Минимум	30,5	3,5	2,5	8,1	4,8	2,1	4,5	57,0
	Максимум	469,8	34,1	42,5	120,3	48,1	29,2	187,0	770,7
	Среднее	188,8	23,7	12,4	64,9	27,6	8,9	68,0	407,4
Несвиж	Минимум	87,9	27,3	4,0	44,1	11,1	4,5	16,3	269,7
	Максимум	589,5	61,3	83,0	168,4	55,9	45,0	182,0	965,5
	Среднее	216,6	36,0	24,2	69,7	30,8	13,5	67,2	472,9

Промышленная зона. В ионном составе водных вытяжек из почв, отобранных на территории промышленной зоны Минска, доминируют гидрокарбонаты и сульфаты, на долю которых приходится 67 и 15 %-экв соответственно от всех анионов, в Смолевичах и Несвиже – гидрокарбонаты (59–65 %-экв) и хлориды (11–16 %-экв). Среди катионов в почвах исследуемых городов преобладают кальций (36–44 %-экв) и магний (27–38 %-экв) (рис. 1).

В «гипотетическом» составе солей в почвах исследуемых городов доминируют соли кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ – 72 %-экв и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ – 25 %-экв. На территории Минска возрастает доля CaSO_4 – 30 %-экв. Это свидетельствует о том, что в структуре выбросов промышленных предприятий значительно содержание соединений серы, которые выпадают с атмо-

Анализ водных вытяжек из почв показал, что содержание водорастворимых веществ колеблется в широком диапазоне как в целом для исследуемых городов, так и в пределах их функциональных зон. Коэффициент контрастности АР (отношение максимального значения содержания вещества/элемента к его минимальному содержанию) для большинства определяемых ионов изменяется от 3 до 54, что свидетельствует о неоднородности поступления и накопления водорастворимых веществ в почвах городов.

Сравнение содержания водорастворимых веществ в почвах исследуемых городов показало, что их максимальные концентрации наблюдаются в пределах г. Минска, что, очевидно, связано с высоким уровнем техногенной нагрузки (табл. 1). Меньшее содержание определяемых макрокомпонентов почв установлено в Смолевичах и Несвиже, где средние значения большинства ионов сопоставимы между собой, что свидетельствует о близких уровнях техногенной нагрузки в их пределах. В почвах на территории Минска содержание большинства определяемых ионов в 1,5–3 раза выше, чем на территории Смолевич и Несвижа.

сферными осадками, а также кальция и магния, поступающих на поверхность почв в виде твердых выпадений в составе золы и пыли. Данные хорошо согласуются с результатами химического состава снежных вод, отобранных в зоне влияния «Минского завода отопительного оборудования», «Минского автомобильного завода» и др. [7], что выявляет атмосферную составляющую поступления водорастворимых веществ почвы.

Сравнение полученного содержания водорастворимых веществ в почвах промышленных зон исследуемых городов показало, что их максимальное содержание отмечается в Минске. Для большинства макрокомпонентов здесь наблюдается относительно равномерное распределение, а значения коэффициента контрастности находятся в диапазоне 3,3–10. Исключение

составляют сульфаты и кальций, содержание которых в почвенном растворе изменяется от 2,5 до 144,0 мг/кг и от 5,0 до 184,4 мг/кг соответственно, что свидетельствует о неравномерности их поступления в почвы (табл. 2).

В промышленных зонах городов Несвиж и Смолевичи содержание водорастворимых веществ отличается большей вариабельностью,

максимальные значения коэффициента контрастности отмечены для сульфатов – 12–13, хлоридов – 1,5–11, натрия – 4,7–6,6 и калия – 9–29. Среднее содержание водорастворимых веществ в пределах данной функциональной зоны наиболее сопоставимо между городами Минск и Несвиж.

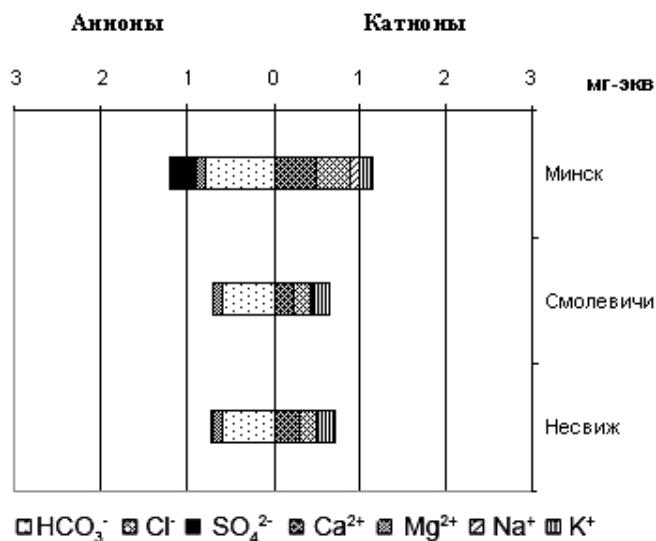


Рис. 1. Соотношение средних содержаний анионов и катионов в почвах промышленных зон городов

Таблица 2. Содержание водорастворимых веществ в поверхностном слое почв (0–10 см) промышленных зон городов, мг/кг

Город	Показатель	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Сумма солей
Минск	Минимум	61,0	15,9	1,0	5,0	14,6	2,5	5,0	205,6
	Максимум	579,7	63,8	160,0	184,4	80,2	60,0	60,0	993,6
	Среднее	278,1	32,8	56,4	64,9	31,0	10,1	31,2	510,4
Смолевичи	Минимум	30,5	3,1	2,5	8,1	4,8	2,1	4,9	57,0
	Максимум	244,1	34,1	32,5	60,1	36,5	10,0	145,0	525,1
	Среднее	161,7	25,8	11,8	48,1	25,1	6,4	72,2	351,0
Несвиж	Минимум	146,5	27,3	4,0	44,1	14,6	4,8	20,0	323,4
	Максимум	488,2	40,9	49,0	128,0	48,6	32,0	182,0	868,2
	Среднее	252,3	34,1	13,3	67,5	27,6	11,7	78,8	501,2

Жилая зона. Рассматривая соотношение катионов и анионов в ионном балансе водных вытяжек из почв, следует отметить, что в жилой зоне г. Минска, как и в промышленной, среди анионов преобладают гидрокарбонаты (60 %-экв) и сульфаты (30 %-экв), в городах Смолевичи и Несвиж – гидрокарбонаты (57–61 %-экв) и хлориды (8–2 %-экв), среди катионов – кальций и магний, приблизительно в одинаковом количестве – 40–45 %-экв и 29–30 %-экв соответственно (рис. 2).

Основная масса гидрокарбонатов связывается с ионами кальция, магния, при этом образуются соли $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, на долю которых приходится 45 и 42 %-экв соответственно.

Доля остальных ионов в водной вытяжке не велика, а образующиеся ими «гипотетические» соли (CaSO_4 , NaCl , Na_2SO_4 и др.) в сумме составляют 12 %-экв.

В пределах жилых зон всех исследуемых городов содержание большинства водорастворимых веществ отличается небольшой вариабельностью, а значения коэффициента контрастности для их минимальных и максимальных значений не превышают 8. Исключение составляют сульфаты, для которых коэффициент контрастности изменяется от 12 до 64. Максимальные значения сульфат-иона в почвах фиксируются в пределах жилой застройки, непосредственно примыкающей к про-

мышленным предприятиям, вблизи которых осаждается максимальное количество промышленных выбросов. Сравнение средних значений водорастворимых веществ в почвах в пределах

жилых зон городов показало, что они отличаются незначительно и находятся в диапазоне от 441,1 до 468,5 мг/кг (табл. 3).

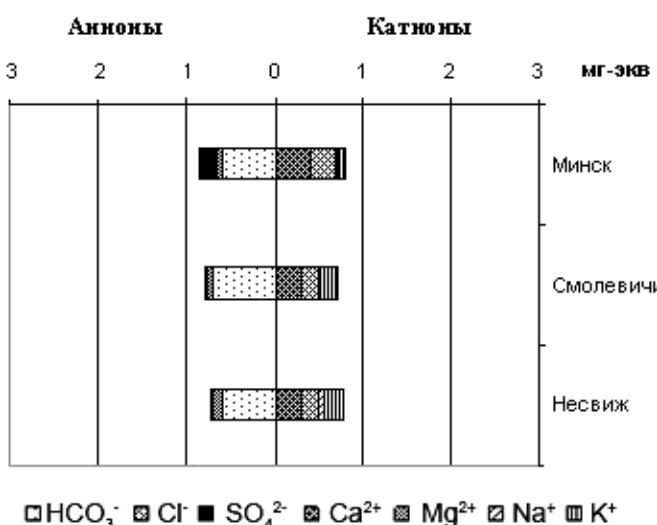


Рис. 2. Соотношение средних содержаний анионов и катионов в почвах в пределах жилых зон городов

Таблица 3. Содержание водорастворимых веществ в поверхностном слое почв (0–10 см) жилых зон городов, мг/кг

Город	Показатель	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма солей
Минск	минимум	183,1	17,0	2,5	40,1	19,5	3,5	15,0	305,9
	максимум	336,0	34,0	160,0	100,0	36,5	7,0	45,0	701,5
	среднее	236,9	27,9	61,6	59,5	28,9	5,5	30,2	450,6
Смолевичи	минимум	92,0	15,4	2,5	48,1	11,5	3,5	4,5	297,2
	максимум	469,8	34,1	42,5	120,3	48,1	29,2	187,0	770,7
	среднее	207,5	23,4	13,3	74,5	29,3	10,4	69,9	441,1
Несвиж	минимум	97,7	27,3	4,0	48,1	11,5	4,5	16,0	318,5
	максимум	361,3	61,3	56,0	102,0	48,7	45,0	179,0	665,7
	среднее	195,3	38,4	16,1	67,9	29,9	14,5	78,9	468,5

Рекреационная зона. В почвах в пределах рекреационной зоны данных городов преобладающими анионами являются гидрокарбонаты (74–78 %-экв) и хлориды (8–17 %-экв), доля сульфатов не превышает 4 %-экв. Среди катионов, также как в промышленной и жилой функциональных зонах, преобладают кальций и магний, на долю которых приходится 37–44 %-экв и 24–38 %-экв соответственно, доля калия составляет 19–20 %-экв, натрия – 4–8 %-экв (рис. 3). Структура «гипотетических» солей приблизительно соответствует структуре жилой зоны исследуемых городов, т. е. преобладают соли кальция, магния и в меньшей степени натрия и калия.

Содержание минеральных водорастворимых веществ в почвах рекреационной зоны городов по сравнению с другими функциональными зонами отличается минимальными значениями.

Они распределены в пространстве равномерно. Для большинства ионов коэффициент контрастности не превышает 5, в редких случаях его значение достигают 10. Среднее содержание суммы солей, присутствующих в почве, наиболее близко в городах Минск и Несвиж. Минимальное содержание солей установлено в рекреационной зоне г. Смолевичи, так как она расположена на значительном удалении от объектов промышленности и энергетики (табл. 4).

Транспортная зона. Анализ водных вытяжек из почв в транспортной зоне показал, что в ее пределах, по сравнению с другими функциональными зонами, наблюдается наибольшая дифференциация содержания исследуемых минеральных водорастворимых веществ, их соотношения между собой и пространственного распределения вдоль городских улиц и дорог.

В зависимости от вида уборки снега с дорог в зимнее время установлена различная ширина зоны с максимальным содержанием водорастворимых веществ в почве. При уборке снега роторной техникой эта зона – 10–15 м от дороги, при уборке плужно-щеточной – 2–5 м. Суммарное содержание солей в почве в зоне влияния снегоуборочной техники составляет 577,6–1737,1 мг/кг (среднее – 1053,9 мг/кг), что 1,2–9,4 раза выше, чем в других функциональных зонах городов. В ионном составе водных вытяжек из почв среди

анионов доминируют хлориды (81 %-экв от всех анионов), среди катионов – натрий (64 %-экв), содержание кальция и калия составляет 18 и 14 %-экв соответственно. В «гипотетическом» составе солей преобладают соли натрия – NaCl (62 %-экв) и NaHCO_3 (23 %-экв), кальция – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (8 %-экв). Это свидетельствует о применении противогололедных реагентов, приготовленных на основе галитовых отходов калийных производств.

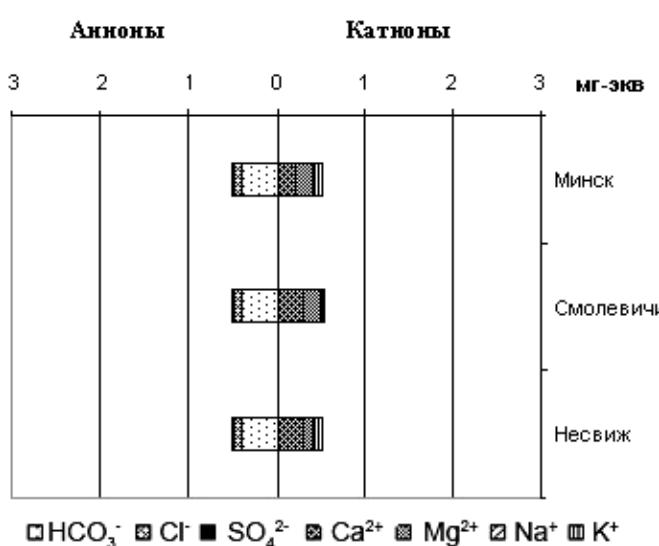


Рис. 3. Соотношение средних содержаний анионов и катионов в почве в пределах рекреационных зон городов

Таблица 4. Содержание водорастворимых веществ в поверхностном слое почв (0–10 см) рекреационных зон городов, мг/кг

Город	Показатель	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Сумма солей
Минск	Минимум	61,0	15,9	1,0	24,1	14,6	2,5	5,0	205,6
	Максимум	303,5	47,9	16,5	64,2	38,9	6,0	38,0	510,6
	Среднее	183,5	32,4	10,6	43,6	21,2	4,3	27,0	351,4
Смолевичи	Минимум	92,0	12,4	2,5	32,0	19,5	3,5	19,0	184,4
	Максимум	183,0	15,4	32,5	56,1	24,3	4,0	82,0	396,8
	Среднее	137,5	13,9	17,5	44,1	21,9	3,8	50,5	290,6
Несвиж	Минимум	87,9	27,3	14,5	48,1	11,1	9,0	20,0	269,7
	Максимум	589,5	47,7	83,0	168,4	55,9	30,0	34,0	965,5
	Среднее	227,2	35,1	51,1	80,7	38,5	13,0	25,9	471,5

Радиальное распределение преобладающих в почве ионов натрия и калия достаточно равномерное по всему профилю (рис. 4). Наличие данных ионов во всей почвенной толще свидетельствует о длительном периоде техногенной нагрузки, главным образом за счет ежегодного применения противогололедных солей на дорогах. Максимальное содержание хлоридов отмечается на глубине 40–100 см, что связано с их вымыванием в нижние слои почвы.

Вне зоны влияния снегоуборочной техники

содержание солей минимальное (192,0–414,0 мг/кг, среднее – 324,5 мг/кг). Среди анионов преобладают гидрокарбонаты (80 %-экв), а среди катионов – кальций (60 %-экв) и магний (30 %-экв). В «гипотетическом» составе солей, как и в пределах других функциональных зон исследуемых городов, доминируют соли кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ – 72 %-экв, и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ – 25 %-экв. Максимальное содержание исследуемых ионов наблюдается в верхней части почвенно-го профиля, с глубиной их содержание посте-

пенно уменьшается.

Проведенные исследования позволили установить, что максимальное содержание минеральных водорастворимых веществ (сумма солей – 205,6–2074,0, среднее – 731,9 мг/кг) наблюдается в пределах г. Минска как крупного

промышленного центра. В пределах г. Смолевичи и г. Несвиж содержание данных макрокомпонентов приблизительно одинаково, но ниже, чем в г. Минске в 1,5–1,8 раза соответственно. Это свидетельствует о том, что они имеют меньшую техногенную нагрузку.

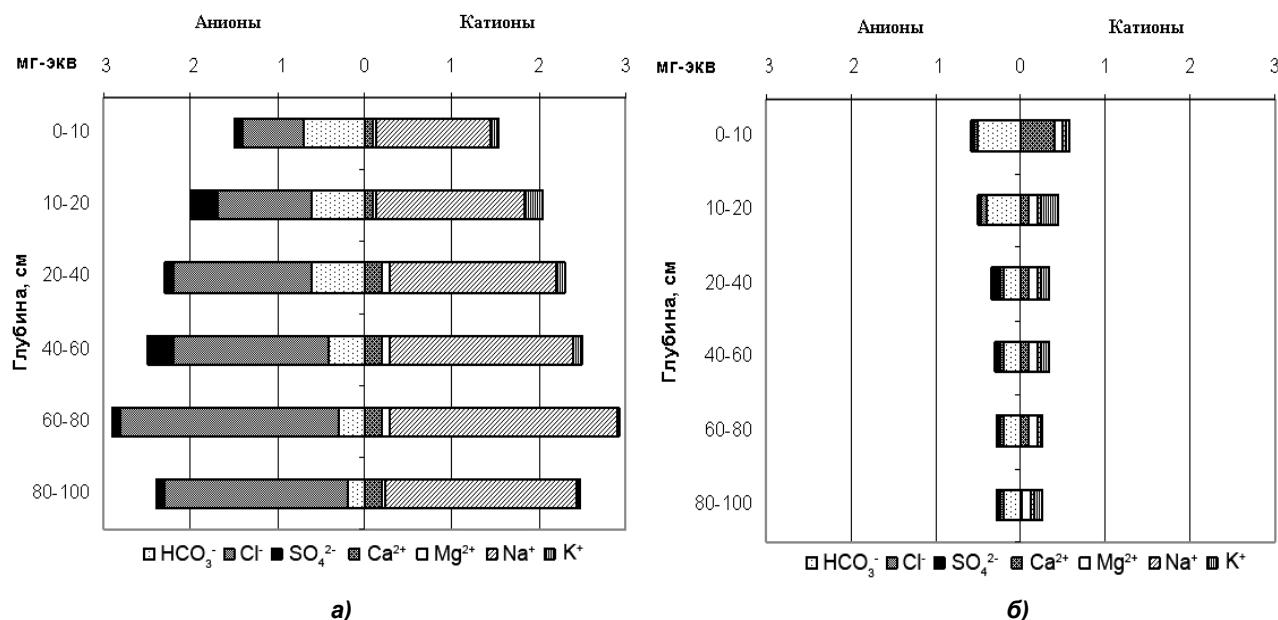


Рис. 4. Соотношение средних содержаний анионов и катионов в почве в пределах транспортной зоны на различном удалении от проезжей части:
а – в зоне влияния снегоуборочной техники; б – вне зоны влияния снегоуборочной техники

Максимальные уровни содержания водорастворимых веществ (сумма солей – 192,0–1737,1 мг/кг) наблюдаются в пределах транспортной зоны, где оказывается влияние применения противогололедных солей в зимнее время на дорогах. Высокое содержание макрокомпонентов наблюдается также в почвах в пределах промышленной зоны (сумма солей – 351,0–510,4 мг/кг), где поступление водорастворимых веществ происходит с выбросами промышленных предприятий. В пределах жилой зоны высокое содержание водорастворимых веществ (суммы солей – 441,1–468,5 мг/кг) наблюдается в районах, непосредственно примыкающих к промышленным предприятиям. Минимальные содержания водорастворимых веществ (сумма солей – 290,6–351,4 мг/кг) фиксируются в почвенном покрове в пределах рекреационных зон городов, наиболее удаленных от источников промышленности и крупных автомагистралей.

По составу «гипотетических» солей и соотношению анионов и катионов прослеживается четкая дифференциация в структуре водорастворимых веществ, поступающих в почвы.

На территории исследуемых городов в пределах промышленной, жилой и рекреационной зон в составе водорасторимых веществ велика доля гидрокарбонатов, ионов кальция и магния.

На территории Минска, по сравнению с другими городами, в структуре выбросов возрастает доля соединений серы, что отражается в составе «гипотетических» солей, присутствующих в почве. В почвенном покрове в пределах транспортной зоны соотношение ионов и состав солей значительно отличаются от других функциональных зон. Здесь преобладающими являются хлориды и натрий, которые в составе противогололедных реагентов поступают в почвенный покров придорожных полос при уборке снега с проезжей части снегоуборочной техникой. Присутствие в почвах высоких концентраций солей натрия (NaCl , NaHCO_3) свидетельствует о тенденции развития засоления почв, что ведет к ухудшению условий вегетации зеленых насаждений, произрастающих вдоль улиц и дорог городов.

Литература

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1970.
2. Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16.
3. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов: учебное пособие. М., 2007.
4. Головатый С. Е., Ковалевич З. С., Лукашенко Н. К. Загрязнение почв хлоридами в условиях техногенеза (на примере деятельности предприятия «Беларуськалий») // География в XXI веке: проблемы и перспективы развития: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., редкол.: К. К. Красовский (гл. ред.) [и др.]. Брест, 2008. С. 48 – 49.
5. Завриев В. Г., Киселев В. Н. Полесские солончаки // Вестник БГУ им. В. И. Ленина. Серия 2. 1972. № 2. С. 62–64.
6. Какарека С. В., Белькович О. Е., Хамичевич А. В. Многолетняя динамика и тренды атмосферных выпадений серы и азота на урбанизированных территориях Беларуси // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 16. С. 30–38.
7. Какарека С. В., Белькович О. Е., Чудук В. Н. Особенности химического состава снежного покрова в г. Минске в зимний период 2006–2007 гг. // Природопользование. Минск, 2008. Вып. 14. С. 57–62.
8. Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. М., 1946. Т. 1.
9. Перельман А. И. Засоление и рассоление ландшафтов // Геохимия ландшафтов: теория миграции химических элементов в природных ландшафтах. М., 1975. С. 6–26.
10. Петухова Н. Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Минск, 1987.
11. Пироговская Г. В., Головатый С. Е., Сороко В. И. и др. Уровень загрязнения почв и растительности придорожной полосы // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов: Сб. науч. тр.; редкол.: А. В. Бусел [и др.]. Минск, 2004. Вып. 17. С. 96–102.
12. Попынов Б. Б. Избранные труды. М., 1956.
13. Рыжиков В. А. Эколого-геохимическая оценка автотранспортных ландшафтно-функциональных комплексов (на примере г. Минска): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 2010.
14. Сидорович Е. А., Чубанов К. Д. и др. Содержание ионов хлора в почвах под зелеными насаждениями Минска и аккумуляция их в ассимиляционных органах деревьев // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2001. № 1. С. 9–13.
15. Туренков Н. И., Жигарев П. Ф. Изменение свойств почв под воздействием отходов производственного объединения «Белорускалий» // Охрана окружающей среды калийных производств. Минск, 1979. С. 90–99.
16. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И., Кравчук Л. А. Светлогорск: экологический анализ города. Минск, 2002.
17. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И. Экогохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск, 2004.
18. Черноусенко Г. И., Ямнова И. А., Скрипникова М. И. Антропогенное засоление почв Москвы // Почвоведение. 2003. № 1. С. 97–105.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 05.09.2011

В. А. Рыжиков, Ю. А. Романкевич, Д. Ю. Городецкий, Г. М. Бокая

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДОРАСТВОРIMЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН ГОРОДОВ С РАЗЛИЧНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

В статье представлены результаты исследования почв на содержание минеральных водорасторимых веществ в функциональных зонах городов с различной техногенной нагрузкой.

Установлено, что максимальное содержание минеральных водорасторимых веществ наблюдается в пределах г. Минска как крупного промышленного центра. В пределах г. Смолевичи и г. Несвиж содержание данных макрокомпонентов приблизительно одинаково, но значительно ниже, чем в г. Минске.

Максимальные уровни содержания водорасторимых веществ наблюдаются в пределах транспортной функциональной зоны, где оказывается влияние применения противогололедных солей в зимнее время на дорогах и промышленной зоны, где поступление водорасторимых веществ происходит с выбросами промышленности и энергетики в составе атмосферных осадков и твердых выпадений. Минимальные значения водорасторимых веществ наблюдаются в пределах рекреационной зоны городов.

По составу «гипотетических» солей и соотношению анионов и катионов в пределах промышленной, жилой и рекреационной зон в составе водорастворимых веществ велика доля гидрокарбонатов, ионов кальция и магния, которые образуют одноименные соли.

На территории г. Минска, по сравнению с другими городами, в структуре выбросов возрастает доля соединений серы, что отражается в составе «гипотетических» солей, присутствующих в почве. В почвенном покрове в пределах транспортной зоны соотношение ионов и состав солей сильно отличаются от других функциональных зон, здесь преобладающими являются хлориды и натрий, которые в составе противогололедных реагентов поступают в почвенный покров придорожных полос при уборке снега с проезжей части снегоуборочной техникой.

V. A. Ryzhikov, Yu. A. Romankevich,
D. Yu. Gorodetski, G. M. Bokaya

DISTRIBUTION OF MINERAL WATER SOLUBLE MATTERS IN CITIES FUNCTIONAL ZONES SOILS OF VARIOUS TECHNOGENIC LOADS

In article results of research of soils on mineral water-soluble substances content in functional zones of cities with various technogenic loads are presented.

It is found, that the maximum mineral water-soluble substances content is observed within Minsk as a large industrial centre. Within Smolevichi and Nesvizh the content of the stated macro-components is approximately equal, but much lower than in Minsk.

Maximum levels of water-soluble substances content are observed within a transport functional zone where anti-icing salts during winter time application influence affects roads and an industrial zone where income of water-soluble substances occurs with emissions of industry and power as a part of atmospheric precipitation and solid fallouts. The minimum values of water-soluble substances are observed within a recreational zone of cities.

On the structure of «hypothetical» salts and a parity of anions and cations within industrial, living and recreational zones as a part of water-soluble substances the share of hydrocarbons, ions of calcium and magnesium is great which form similar name salts.

In territory of Minsk, in comparison with other cities, in the structure of emissions the share of sulphur compounds increases that is reflected as a part of «hypothetical» salts which are present in soil. In a soil cover within a transport zone the parity of ions and structure of salts strongly differ from other functional zones, here chlorides and sodium prevail which in the structure of anti-icing reagents come into a soil cover of roadside strips at cleaning of snow from traffic ways by snow-removing machines.

УДК: 631.4: 631.61: 504.4

С. В. Тыновец, А. Ф. Веренич, И. В. Рышкель

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОЕМНОСТИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ОРГАНОГЕННОГО СЛОЯ

В статье приводятся данные изменения продуктивности лугового агроценоза, агрохимических показателей аллювиальной торфяной почвы под влиянием регулируемого затопления. Выявлена направленность и степень изменения почвенных режимов аллювиальной торфяной почвы в результате мелиоративного и сельскохозяйственного воздействия. Полученная информация будет способствовать сохранению плодородия почв поймы р. Припять при луговом ее использовании.

Пойменные земли Белорусского Полесья расположены по рекам бассейна Припяти (Ясельда, Горынь, Бобрик, Птич, Струга, Уборт и др.), а также по самой Припяти. В основном эти площади представлены сенокосными и пастбищными кормовыми угодьями. Благоприятные климатические условия, достаточное количество влаги, а также длительный вегетационный период определяют высокую потенциальную продуктивность пойменных почв.

Одной из особенностей пойменных земель является затопление их весенними и паводковыми водами, что оказывает влияние на развитие почвообразовательного процесса и продуктивность этих угодий. Средняя продолжительность затопления поймы составляет 47–90, а в отдельные годы достигает 180 дней [1, 2]. Основными препятствиями эффективного использования пойменных земель являются весенние половодья, летние и осенние паводки, которые с различной интенсивностью проходят на территории поймы. При этом для одних и тех же рек в различные годы в зависимости от погодных условий половодья значительно разнятся как по времени, так и по силе своего проявления. Отчасти нивелировать такое явление можно за счет строительства польдерных систем. Однако их введение связано с большими сложностями из-за гидрогеологических особенностей территории, требует больших капитальных затрат и материальных ресурсов при строительстве, а также при их дальнейшей эксплуатации [3, 4].

Наряду с этим остро встает вопрос регулирования водно-воздушного режима пойменных земель Белорусского Полесья. Строительство польдерных систем в 80-е гг. XX в. и их эксплуатация требовали научного обоснования развития почвообразовательного процесса при строительстве зимних (незатапливаемых) польдеров. Были разработаны технические параметры и технологические условия строительства летних (затапливаемых) польдерных систем, при которых возможно затопление осушительной системы в весенние времена на определенный срок (до 30–40 сут) и не предусматривалось летнего и осеннего затопления польдера.

Если с технической стороны вопросы строительства летних польдерных систем в основном разработаны, то экологические и агро-биологические проблемы луговодства на данных системах не были в достаточной степени исследованы и разрешены. Необходимо было уточнить влияние поемности на устойчивость отдельных видов бобовых и злаковых трав, на их рост и развитие, продуктивность травостоя. В литературе того времени было немало сведений по этому вопросу, однако они не имели определенного систематического характера и являлись как бы отдельными замечаниями в геоботанических работах. Причем большинство авторов не учитывало возможности регулирования продолжительности затопления мелиорированных пойменных земель. Поэтому наряду со строительством польдеров возникла необходимость изучения выживаемости и продуктивности разных видов злаковых и бобовых луговых трав для различных экологических условий эксплуатации польдерных систем, а также изучения изменения плодородия мелиорируемых пойменных торфяных почв в период их освоения и использования под сенокосы и пастбища, выяснения направленности почвообразовательного процесса при осушении пойменных почв с применением регулируемого затопления.

Для этих целей в соответствии с программой исследований при строительстве польдерной системы в пойме р. Стырь (приток Припяти) на мелиоративном объекте «Ямно» в СПК «Ласицк» Пинского района были построены специальные чеки, на которых было предусмотрено регулирование затопления их слоем воды 35–80 см сроком от 5 до 80 сут.

Система чеков была оснащена необходимым оборудованием и приборами слежения за ходом закачки, подкачки и поддержания уровней грунтовых вод, а также метеорологическими условиями на объекте.

До освоения участок представлял собой низинное болото поймы р. Стырь, поросшее луговой растительностью, в которой преобладали осоки и разнотравье, а среди древесной растительности были ольха, береза и кустарники ивы.

Почва участка – пойменная торфяная с глубиной залегания древесно-осокового торфа 0,8–0,9 м и характеризуется следующими агрохимическими показателями: гидролитическая кислотность – 65,5–94,3 м-экв на 100 г почвы; сумма поглощен-

ных оснований – 153–196 м-экв на 100 г почвы; содержание подвижных форм фосфора – 120–150 и калия – 128–150 мг/кг почвы; зольность залежи торфа – 10,2–11,2% (табл. 1).

Таблица 1. Агрохимическая характеристика торфяно-болотной почвы опытного участка до проведения осушительных работ, 1975 г.

Показатель	Глубина взятия проб, см		
	0–40	40–70	70–90
pH солевой	6,2	6,2	6,1
Гидролитическая кислотность, м-экв/100 г почвы	65,5	94,3	76,2
Сумма поглощенных оснований, м-экв/100 г почвы	153,0	170,0	196,0
Степень насыщенности основаниями	63,0	66,0	67,0
Подвижные формы	P ₂ O ₅ мг/кг почвы	143	150
	K ₂ O мг/кг почвы	130	150
Валовое содержание, %	N	3,22	3,04
	P ₂ O ₅	0,26	0,15
	K ₂ O	0,06	0,035
	CaO	5,80	5,09
Степень разложенности, %		26,0	20,4
Зольность, %		11,2	10,2
			11,2

После завершения культурно-технических работ и комплекса мероприятий, включающих основную и предпосевную обработку почвы, перед залужением и на протяжении всего периода исследований (1978–2005 гг.) с периодичностью 5 лет в контрольном варианте (без затопления) и на участках, где предусматривалось затопление слоем воды 30–35 см в период весеннего половодья на 10 и 15 сут, отбирали почвенные образцы из слоя 0–30 см. В отобранных образцах по общепринятым методикам определяли агрохимические показатели: обменную кислотность, гидролитическую кислотность, рассчитывали емкость поглощения и степень насыщенности основаниями, количество подвижных форм фосфора и калия, а также зольность пахотного слоя.

Осушение аллювиальных торфяных почв путем строительства летних польдеров и их дальнейшее использование в сельскохозяйственном производстве приводит к изменению не только водно-физических, но и агрохимических свойств. Эти изменения происходят как в почвенно-поглощающем комплексе, так и в темпах минерализации органического вещества торфяной залежи. Внесение минеральных удобрений формирует питательный режим, сдвигая баланс веществ в круговороте веществ, который сложился в аллювиальной торфяной почве в процессе ее функционирования в условиях естественной поемности.

Пойменная почва является продуктом воздействия всех внешних факторов, а следовательно, представляет собой в природных условиях неустойчивую экологическую систему, обмен веществ в которой обеспечивает продуктивность естественной флоры и фауны, и она наиболее подвержена изменениям при антропогенном воздействии.

Если исходить из требований сельскохозяйственных растений к влажности почв, то значения влажности изменяются в довольно широких пределах. С экологических позиций предел влажности почв должен быть близок к среднемноголетней его величине в природных экосистемах (0,75–0,95 ПВ). Тогда биологически обусловленное равновесие в пойменных почвах будет сохранено.

Экспериментальные исследования (1975–2005 гг.) показали, что влажность торфяной почвы в слое 0–50 см, где располагается основная масса корневой системы луговых трав, в большинстве вегетационных периодов в контроле (при естественном увлажнении) была в пределах 0,55–0,65 ПВ при уровнях грунтовых вод 35–80 см, которые снижались в маловодные годы до 115 см. Регулируемое затопление на 10 и 15 сут в период весеннего половодья слоем воды до 35 см создавало влажность почвы в значительном количестве лет близкой к среднемноголетней величине в природных экосистемах – 0,75–

0,85 ПВ, поддерживая экологическое равновесие в почве, которое определяет развитие почвенных режимов в условиях пойменного почвообразовательного процесса.

Генетически обусловлено, что в природных условиях почвы поймы сформировали почвенный профиль, характеризующийся высоким содержанием гумуса или торфяным слоем разной мощности, что является их главным биоресурсом плодородия. Основным природным фактором, определяющим равновесие пойменной природной экосистемы, являются половодья, которые создают на некоторый срок гидроморфный режим в пойменных почвах и определяют направленность почвообразовательного процесса.

Во все годы исследований в пахотном слое сохраняется слабокислая реакция среды. В почвенном поглощающем комплексе снижается гидролитическая кислотность и сумма поглощенных оснований на всех опытных участках. Эти изменения на участке без затопления проходили значительно быстрее, чем при затоплении на 10 и 15 сут (табл. 2). Так, снижение суммы поглощенных оснований в контроле было почти в 1,4 раза

больше, чем при затоплении на 10 сут, и в 1,6 раза – на 15 сут. Однако степень насыщенности основаниями почвенно-поглощающего комплекса остается на уровне 72–76 %.

Внесение умеренных норм минеральных удобрений способствовало не только получению высоких и стабильных урожаев луговых травостояев, но и пополняло почвенный запас подвижными элементами питания растений в совокупности с поступлением их при разложении корневых остатков и органического вещества торфа. Содержание подвижных форм фосфора увеличилось в контроле в 3,4 раза, при затоплении на 10 сут – в 3,7, при затоплении на 15 сут – в 4,7 раза. Содержание в пойменной торфяной почве подвижного калия на участке без затопления было по годам неодинаково, его величина варьировалась от 130 до 221 мг/кг почвы. Содержание подвижного калия на участках при затоплении на 10 и 15 сут также изменялось по годам, однако отмечается тенденция его увеличения к концу исследования в 1,4 и 1,7 раза соответственно.

Таблица 2. Изменение агрохимических показателей аллювиальной торфяной почвы под влиянием регулируемого затопления (1975–2005 гг.)

Режим использования	Год отбора проб	РН (KCl)	Hg	S	T	V, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	Зольность, %
			Mg-экв. На 100 г почвы				Mg/кг почвы		
Без затопления	1975	6:2	70,7	161,0	231,7	69,5	124	147	11,2
	1979	6,1	57,4	101,0	158,4	63,8	470	182	19,4
	1985	6,0	37,0	124,0	161,0	77,0	512	221	44,6
	1990	6,2	21,4	110,6	132,0	83,8	526	130	51,9
	1995	6,4	31,1	52,5	83,6	62,6	715	178	48,9
	2000	5,5	24,2	47,2	68,7	70,0	527	165	50,1
	2005	5,4	16,3	42,4	58,7	72,0	417	145	51,1
Затопление на 10 сут	1975	6,0	84,3	166,0	250,3	66,3	180	160	11,2
	1979	6,0	63,0	122,0	185,0	65,0	415	214	15,8
	1985	6,3	47,5	160,7	208,2	77,2	664	263	21,4
	1990	6,0	26,2	139,0	165,2	84,1	559	162	24,1
	1995	6,2	34,9	69,5	104,4	66,1	650	171	28,6
	2000	5,9	29,8	66,9	93,0	71,0	669	208	27,5
	2005	5,6	20,1	62,9	83,0	75,0	679	228	26,5
Затопление на 15 сут	1975	6,3	65,5	153,0	218,5	70,0	120	125	11,2
	1979	6,0	57,0	140,0	197,0	71,1	412	223	15,8
	1985	6,1	52,8	178,0	230,8	77,1	609	160	17,2
	1990	6,1	28,9	157,0	185,9	84,4	599	102	16,0
	1995	6,3	32,3	74,0	106,3	69,4	743	200	19,5
	2000	5,9	27,0	72,8	104,4	72,0	620	210	19,9
	2005	5,7	22,5	71,8	94,4	76,0	560	218	20,1

Зольность пахотного слоя (0–30 см) на участке при естественном увлажнении за 30 лет использования под луговым агроценозом увеличилась в 4,6 раза в связи со сменой анаэробной микрофлоры на аэробную, которая усиливает окислительные процессы в аллювиальной торфяной почве при осушении и использовании.

Регулируемая поемность (затопление в период весеннего половодья на 10 и 15 сут) создает в торфяной почве период восстановительных условий, которые способствуют продлению аллювиального процесса почвообразования, а это сказывается на темпах минерализации, где ее скорость снижается почти в 2 раза по отношению к контролю и зольность находится в пределах 26,5 и 20,1 % при исходной 11,2 %.

При одинаковых на всех опытных участках нормах внесения минеральных удобрений и сходного по ботаническому составу лугового травостоя, в контроле (без затопления) продуктивность агроценоза формировалась при больших потерях органического вещества торфяной почвы, т.е. непроизводительные потери биоэнергетического ресурса поймы были почти в 2 раза больше, чем при регулируемой поемности.

Во все годы исследований пойменная торфяная почва находилась под луговым агроценозом, в котором возделывались как рыхлокустовые, так и корневищно-рыхлокустовые злаковые, а также бобовые травы. Они различались интенсивностью роста, характером стеблестоя, облиственности, отавностью. В первые годы исследований их продуктивность находилась в среднем на уровне 69,5 ц/га без затопления и 88,3–98,1 ц/га при регулируемом затоплении на 10 и 15 сут. В последующие годы использования пойменной торфяной почвы продуктивность лугового травостоя достигала в среднем 83,3 ц/га сухого вещества в варианте без затопления и 114,7 – при затоплении на 10 сут, еще выше была она на участке при затоплении на 15 сут – 122,0 ц/га.

После 15 лет использования провели перезалужение. На всех участках было высажено 14 3-х- и 4-х-компонентных травосмесей, которые создавались на основе злаковых и бобовых мно-

голетних трав. Для создания бобово-злаковых травостоев использовались районированные сорта многолетних трав интенсивного типа. С момента создания объекта и до перезалужения применялись следующие нормы минеральных удобрений – $N_{75}P_{45}K_{120}$ кг/га, после перезалужения норма внесения минеральных удобрений состояла только из фосфора и калия (P_{45} и K_{120}).

Продуктивность травостоев за период 2000–2005 гг. в контрольном варианте (без затопления) была в среднем 102,8 ц/га с колебаниями от 76,5 до 135,7 ц/га. На участке с затоплением до 10 сут средняя урожайность за указанный период составила 107,0 ц/га и изменялась в пределах от 84,0 до 135,8. На участке при регулируемом затоплении на 15 сут – 96,8 ц/га (от 76,5 до 121,4).

Многолетние исследования свидетельствуют о том, что при использовании регулируемого затопления в зависимости от длительности и режимов пойменная торфяная почва в системе агробиоценоза продолжает оставаться в состоянии экологического равновесия. Регулируемая поемность и внесение умеренных норм минеральных удобрений, обеспечивающих получение высоких и устойчивых урожаев бобово-злаковых травостоев, являются одними из основных факторов оптимизации почвенных режимов с одновременным сохранением оптимальных параметров почвенно-поглощающего комплекса и потенциального плодородия, т. е. генетически сложившихся в пойменных почвах относительного равновесия процессов обмена веществ с окружающей средой – антропогенного и прилегающего пойменного ландшафта.

Выявленная направленность и степень изменения почвенных режимов аллювиальной торфяной почвы в результате мелиоративных воздействий и сельскохозяйственного использования может способствовать решению задачи по сохранению плодородия почв поймы р. Припять при ее луговом использовании, созданию устойчивой долголетней продуктивности агроэкосистемы с сохранением биоэнергетического и экологического ресурса пойменных торфяных почв.

Литература

1. Бамбиза И. М. Мощный импульс развития региона // Экономика Беларуси. 2010. № 1. С. 62–65.
2. Корчоха Ю. М., Медведский А. И., Нестеренко Е. К. Продуктивность пойменных земель в условиях регулируемой поемности // Проблемы Полесья. Вып. 8. Минск, 1983. С. 210–222.
3. Медведский А. И., Рощка Т. Б., Садовская М. Л., Синковец М. А. Изменение плодородия мелиорируемых пойменных торфяно-болотных почв при регулируемом затоплении // Почвоведение. 1982. № 8. С. 78–83.
4. Медведский А. И., Тыновец С. В. Мелиорация и луговодство на пойменных землях / Белорус. НИИ мелиорации и луговодства: Изменение свойств аллювиальных торфяных почв под влиянием осушения и регулируемой поемности. Минск, 1996. С. 57–62.

5. Мееровский А. С., Бобровский Н. А. Влияние сроков затопления луговых травостоев на агрохимические свойства и продуктивность торфянной почвы // Мелиорация переувлажненных земель. 2006. № 2 (56). С. 118–124.
6. Мееровский А. С., Веренич А. Ф., Рощка Т. Б. Состояние пойменных земель в Полесье и их рациональное использование // Мелиорация переувлажненных земель. 2006. № 1 (56). С. 136–139.

**РУП «Институт мелиорации»,
Полесский государственный университет**

Поступила в редакцию 11.10.2011

С. В. Тыновец, А. Ф. Веренич, И. В. Рышкель

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОЕМНОСТИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
ПЛОДОРОДИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ОРГАНОГЕННОГО СЛОЯ**

Применение регулируемого затопления в зависимости от длительности и режимов позволяет пойменной торфянной почве в системе агробиоценоза оставаться в состоянии экологического равновесия. Регулируемая поемность является одним из основных факторов оптимизации почвенных режимов с одновременным сохранением оптимальных параметров почвенно-поглощающего комплекса и потенциального плодородия, т. е. генетически сложившихся в пойменных почвах относительного равновесия процессов обмена веществ с окружающей средой – антропогенного и прилегающего пойменного ландшафта. Способствует сохранению плодородия почв поймы р. Припять при луговом ее использовании, созданию устойчивой долголетней продуктивности агроэкосистемы с сохранением биоэнергетического и экологического ресурса пойменных торфяных почв.

S. Tynovets, A. Verenich, I. Ryshkel

**REGULATION OF PEAT SOILS BOTTOM LAND CAPACITY AIMED AT THE INCREASE OF
FERTILITY AND DEGRADATION PREVENTION OF ORGANOGENIC LAYER**

Application of adjustable flooding depending on duration and modes allows inundated peat soil in system of agrobiocenosis to remain in an ecological equilibrium condition. Regulated bottom land capacity is a major factors of optimisation of soil modes, with simultaneous preservation of optimum parameters of a soil-absorbing complex and potential fertility, that is genetically developed in inundated soils of relative balance of processes of a metabolism with environment – an anthropogenous and adjoining inundated landscape. Pripyat promotes preservation of fertility of soils bottom land at its meadow use, to creation of steady long efficiency agroecosystem with preservation of a bioenergetic and ecological resource of inundated peat soils.

Л. А. Кравчук, В. А. Рыжиков

СТРУКТУРА, СОСТОЯНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ПОСАДКАХ ВДОЛЬ УЛИЦ И ДОРОГ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

На основании данных натурных обследований древесных посадок вдоль улиц и дорог в некоторых городах Беларуси (Минске, Витебске, Гродно, Полоцке, Борисове и Светлогорске) проведена оценка породной структуры древесных насаждений, их состояния и устойчивости. Выявлено, что в обследованных городах в составе посадок высока доля малоустойчивых к загрязнению воздуха видов (липа мелколистная, конский каштан обыкновенный).

На примере Минска проведена оценка связи индекса состояния древостоев с категориями улиц по интенсивности движения, а также с электропроводностью почвенного раствора, свидетельствующей об уровне засоления почв.

В настоящее время в Беларуси основным источником вредных выбросов в атмосферу является транспорт. Согласно [18], от мобильных источников в воздушную среду страны в 2009 г. поступило 71,3 % от общих выбросов загрязняющих веществ (1594,6 тыс. т). Причем в городах эта доля выше, например в Минске суммарный объем выбросов в атмосферу от мобильных источников составил около 80 % (196,1 тыс. т). Из поллютантов, присутствующих в эмиссиях транспорта, наибольшую долю составляют оксид углерода, углеводороды, в значительных количествах встречаются оксиды азота, диоксид серы, взвешенные вещества и другие загрязнители. В целом, в составе выбросов мобильных источников содержится более 170 токсических соединений (например, полиароматические углеводороды, тяжелые металлы и др.). При этом специфика выбросов заключается в их преобладающем локальном распределении в приземном слое атмосферы.

Одним из компонентов природной среды, компенсирующим (перераспределяющим) загрязнение воздуха эмиссиями транспорта, является растительность. Насаждения вдоль улиц и дорог выполняют значимые сансирующие, шумо-, ветро-, снего-, водо-, почвозащитные, архитектурно-планировочные и другие функции. Исследования показали, что газопродуктивный и пыле-, газопоглотительный потенциал насаждений, их шумозащитные свойства зависят от структуры, видового состава, возраста и состояния посадок. Выявлено, что степень снижения уровня загрязненности воздушного бассейна зависит от строения защитной полосы насаждений и варьирует от 4–7 % (при однорядных посадках деревьев) до 60–70 % (при наличии многорядных высокосомкнутых древесно-кустарниковых насаждений) [4]. В процессе жизнедеятельности растения способны задерживать и поглощать из воздуха взвешенные частицы (аэрозоли и пыль), газообразные соединения – оксид и диоксид углерода, диоксид серы, сероводород, хлористый водород,

аммиак, оксиды азота, формальдегид и другие загрязняющие вещества, тем самым снижая их концентрацию в приземном слое атмосферы [1, 2, 6, 7, 9, 11, 15].

Выполняя защитные функции, растения, высаженные вдоль улиц и дорог, испытывают высокие техногенные нагрузки – здесь существенно трансформируются условия их произрастания. Из причин снижения жизненности растений в придорожных посадках следует отметить, прежде всего, загрязнение воздуха и почв. Вредное воздействие поллютантов в твердой, газообразной и аэрозольной формах оказывается на состоянии ассимиляционных органов. Загрязняющие вещества, попадая на листья (хвою), часто создают налет, который снижает приток необходимой для фотосинтеза радиации, засоряет устьица, оказывают токсическое действие на ткани листьев, вызывая их хлороз и/или некроз, что уменьшает фотосинтетическую активность растений [2, 6, 7, 9, 15]. Поллютанты, попадая в почву из воздуха, а также при внесении противогололедных реагентов в зимнее время, изменяют ее структуру, физические и химические характеристики (пористость, смачиваемость, pH, содержание тяжелых металлов, углеводородов, ионов натрия, хлора, сульфатов, нитратов и др.). Повышенные концентрации ионов натрия и хлора в почвах вызывают физиологические нарушения при росте и развитии растений. Концентрируясь в высоких дозах, особенно в весенний период, они препятствуют поглощению корневой системой питательных веществ и воды, что выражается в эффекте физиологической засухи. Данный процесс особенно опасен в фазе начала вегетации, когда идет рост растений и активное поглощение ими воды и питательных элементов из почвы [3, 13–17].

Помимо химического загрязнения среды существенное влияние на состояние растений оказывают изменения микроклиматических условий произрастания. Снижение влажности и повышение температуры воздуха и почвы в придо-

рожных полосах в значительной степени ослабляют посадки деревьев, кустарников и травянистых растений, снижая их устойчивость к неблагоприятным условиям городской среды [3]. Изменение условий среды обитания влияет на морфометрические показатели растений (размеры и симметрию листовой пластинки, структуру кроны и корневой системы и др.), их анатомо-физиологические особенности (плотность опушения листовой пластинки, размеры устьиц, свойства тканей листьев, биохимические процессы и др.) [2, 6, 7, 9, 11, 15]. Ослабленные неблагоприятными условиями произрастания растения в придорожных посадках чаще повреждаются различными энтомовредителями и болезнями [5]. Весь спектр воздействий в конечном итоге ведет к изменению биологической продуктивности, а следовательно, к изменению средообразующих и средозащитных качеств растений.

Структура, состояние и устойчивость древесных посадок вдоль улиц и дорог изучались в ряде городов Беларуси в период с 1999 по 2009 г. как при выполнении работ в составе комплексных схем охраны окружающей среды, так и в целенаправленных научных исследованиях [8, 14]. В Минске проведено практически сплошное обследование, при котором в 810 выделах

картографирования в застроенной части города, а также на ландшафтно-рекреационных объектах отдельно изучались посадки вдоль улиц и дорог. При этом было обследовано более 65 тыс. деревьев (в усадебной и смешанной застройке посадки обследовались выборочно). Насаждения вдоль Минской кольцевой дороги изучались лишь на участках, прилегающих к застройке, так как детальные исследования и мониторинг их состояния проводятся Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси [13, 18]. В Витебске, Гродно, Полоцке, Борисове, Светлогорске проводились выборочные исследования, где в посадках вдоль улиц и дорог проведена оценка состояния, соответственно 4,7, 3,3, 0,7, 1,2 и 1,3 тыс. деревьев. Во всех случаях использовались методические подходы к оценке состояния и устойчивости древесных насаждений, приведенные в публикациях [8, 10].

Анализ видового состава придорожных посадок в городах выявил достаточно высокое разнообразие видов древесных растений в посадках вдоль улиц и дорог. Например, в Минске выявлено около 90 видов деревьев из 30 родов и 12 семейств. Структура породного состава древесных насаждений вдоль улиц и дорог Минска отражена на диаграмме (рис. 1).

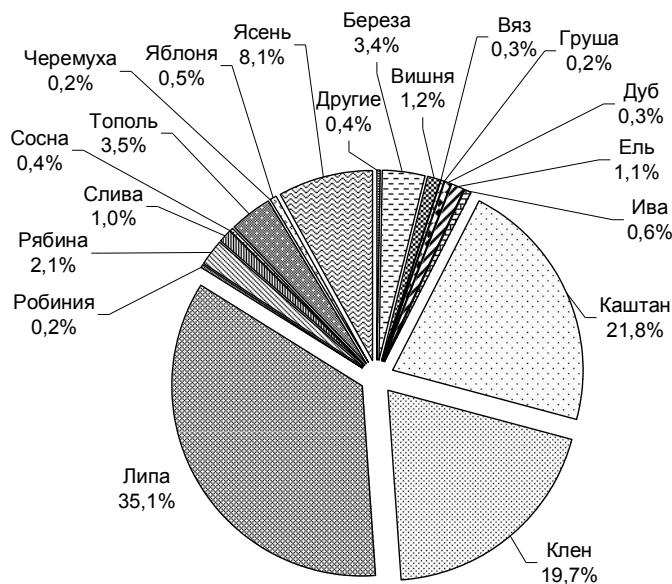


Рис. 1. Структура древесных посадок вдоль улиц и дорог в Минске (в разрезе рода)

Как видно из рис. 1, в целом в застроенной части Минска в посадках вдоль улиц и дорог доминируют представители рода липа (*Tilia L.*) – 35 % от всех обследованных деревьев; конский каштан (*Aesculus L.*) составляет около 22, клен (*Acer L.*) около 20, ясень (*Fraxinus L.*) – 8, тополь (*Populus L.*) – 3,5, береза (*Betula L.*) – 3,4, рябина

(*Sorbus L.*) – 2 %. В посадках вдоль улиц в усадебной застройке города часто встречаются плодовые деревья из родов *Prunus L.*, *Cerasus L.*, *Malus Mill.*, *Padus Mill.*, *Pyrus L.* и др. Их суммарное количество в составе насаждений транспортных зон города достигает 3 %. Изредка в насаждениях придорожных полос встречаются ели

(*Picea Dietr.*), ивы (*Salix L.*), сосны (*Pinus L.*), дубы (*Quercus L.*), вязы (*Ulmus L.*), акация (*Robinia L.*), тuya (*Thuja L.*). Редко – представители родов *Abies Mill.*, *Larix Mill.*, *Pseudotsuga Car.*, *Caragana Lam.*, *Juglans L.*, *Alnus Mill.*, *Elaeagnus L.*, *Hippophae L.*, *Crataegus L.*, *Amalanchier Medic.*, *Phellodendron Rupr.* Многие роды представлены несколькими видами, например наиболее высокое видовое разнообразие у тополей (9 видов, среди них и гибридные), ив и кленов (по 6 видов). Остальные роды представлены 1–4 видами. Однако в Минске составе посадок транспортных зон преобладают липа мелколистная (*Tilia cordata Mill.*) (25 %), конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum L.*) (22), клен остролистный (*Acer platanoides L.*) (17), липа крупнолистная (*Tilia plathyphyllos Scop.*) (10 %), доля других видов в составе посадок вдоль улиц и дорог менее 10 %.

Выборочные обследования древесных насаждений транспортных зон в Витебске, Гродно, Полоцке и Светлогорске показали, что в их составе также, с некоторыми вариациями, доминируют липа (преимущественно мелколистная), конский каштан обыкновенный, клен (остролистный), встречаются тополя (канадский, бальзами-

ческий, лавролистный и др.), ясени (обыкновенный, пенсильванский), береза, рябина, изредка – ива и другие породы (рис. 2).

Оценка состояния древесных посадок различных групп возраста в транспортных зонах некоторых городов проведена на основании расчетов индекса состояния (L , %) (согласно [10]), средние значения которого для посадок вдоль улиц и дорог в городе в целом отражены на рис. 3. Из диаграммы видно, что состояние древостоя во многом определяется их возрастом. Наиболее ослаблены, как правило, деревья ранних групп возраста, что возможно объяснить плохой приживаемостью саженцев из-за высоких нагрузок, неблагоприятных эдафических и микроклиматических условий произрастания, формирующихся при отсутствии должного ухода за посадками. Заметно ухудшение состояния у старых деревьев по сравнению со средневозрастными и молодыми, что можно объяснить, очевидно, физиологическими изменениями в процессе старения деревьев. На рис. 3 видны некоторые различия между состоянием посадок в транспортных зонах различных городов.

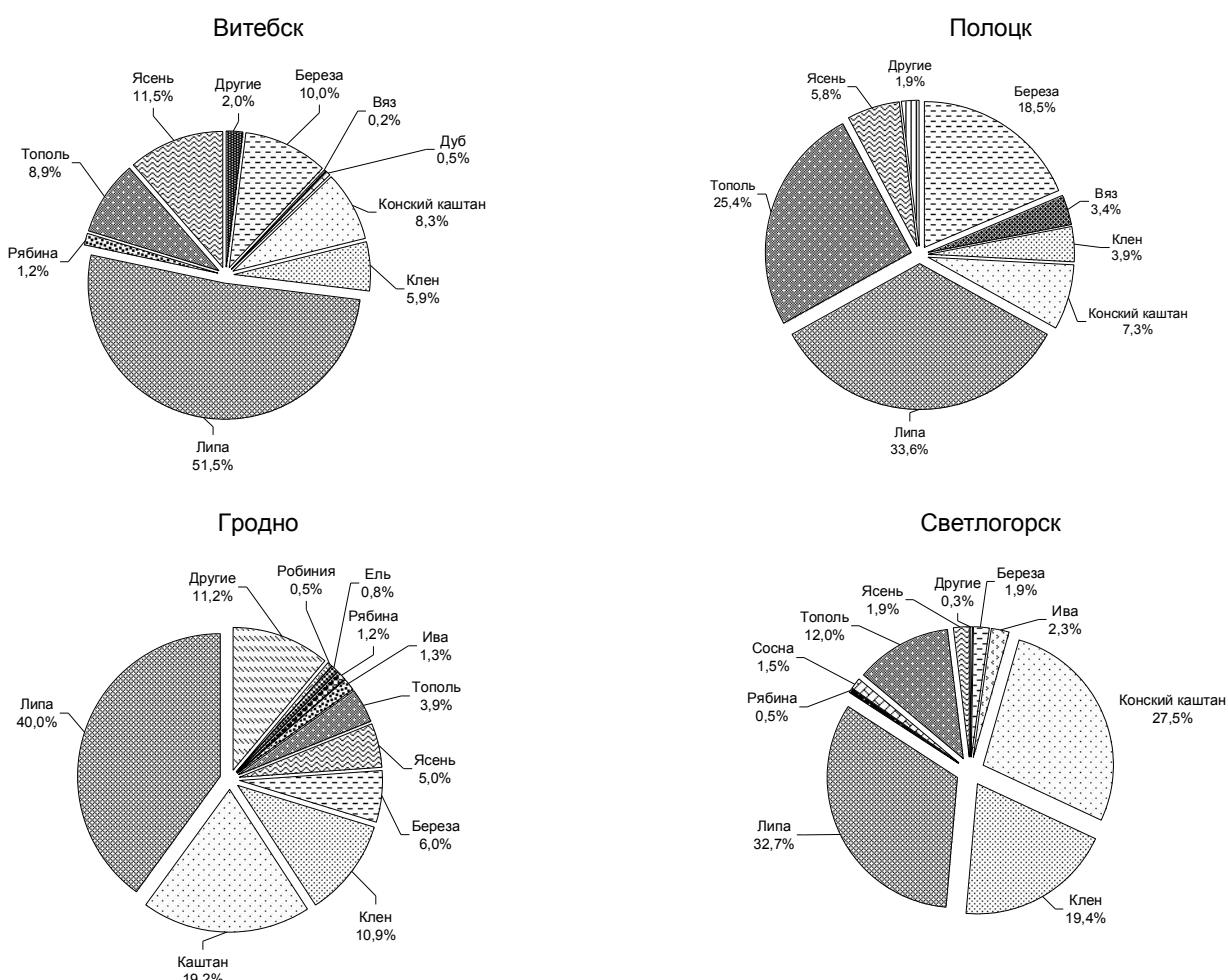


Рис. 2. Структура древостоя в посадках вдоль улиц и дорог в некоторых городах Беларусь (в разрезе рода)

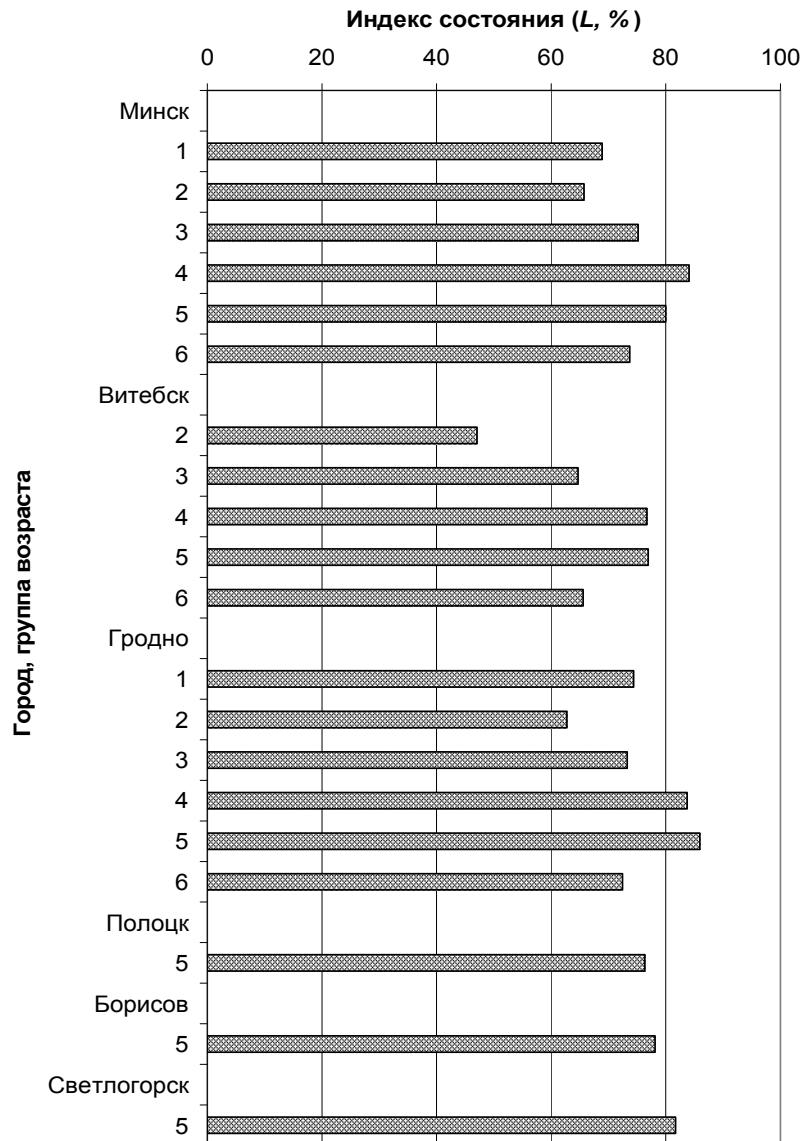


Рис. 3. Значения индекса состояния древостояев различных групп возраста в посадках вдоль улиц и дорог в некоторых городах Беларусь (группы возраста: 1 – ювенильные; 2 – имматурные; 3 – виргинильные; 4 – молодые; 5 – средневозрастные; 6 – старые)

Значения индекса состояния различных видов деревьев, которые часто встречались в посадках транспортных зон Минска на момент обследований, отражены на рис. 4. Следует отметить, что на диаграмме приведены средние взвешенные значения индекса состояния отдельных видов деревьев средневозрастной и молодой групп возраста, произраставших на улицах города. Из диаграммы видно, что наиболее ослаблены насаждения ели европейской и сосны обыкновенной. Эти виды, согласно шкалам устойчивости [12], потенциально малоустойчивы и неустойчивы к загрязнению воздуха (соответственно 4-й и 5-й класс устойчивости). Ос-

лабление отмечено также у малоустойчивых липы мелколистной (4-й) и конского каштана обыкновенного (4-й класс устойчивости). Значительно ослаблены посадки и потенциально относительно устойчивых видов – вяза шершавого, клена ложноплатанового, тополя пирамидального, дуба черешчатого, однако в ряде случаев ослабление деревьев данных пород вызвано массовым развитием энтомовредителей и болезней. Состояние посадок остальных видов деревьев можно отнести к категории «здоровые с признаками ослабления» и лишь отдельных видов (вяз гладкий, ивы белая и ломкая, тополь белый и канадский) – «здоровые».

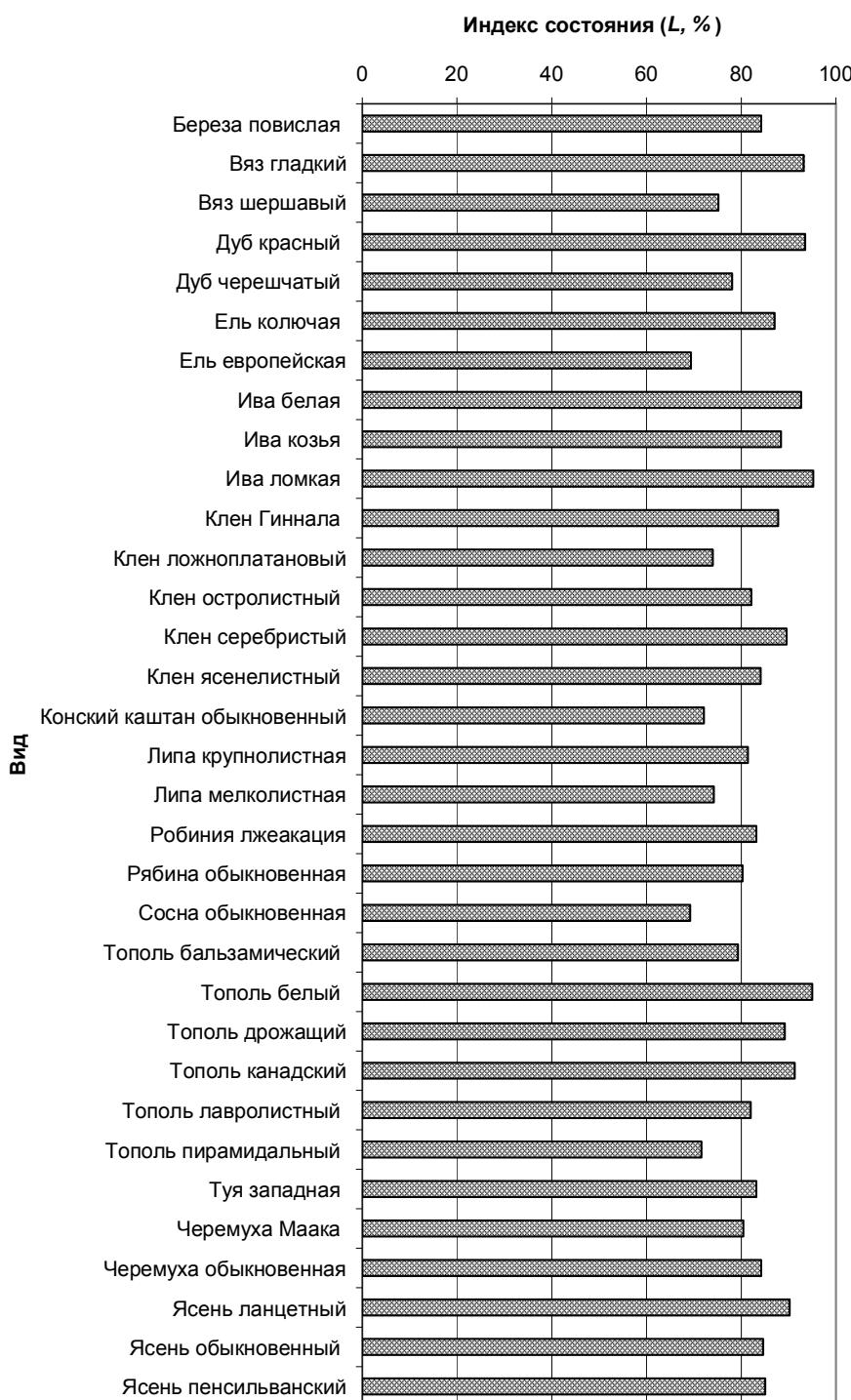


Рис. 4. Значение индекса состояния ($L, \%$) молодых и средневозрастных деревьев различных видов, встречающихся в посадках вдоль улиц и дорог Минска

Посадки деревьев в городах обследовались на улицах, отличающихся уровнем техногенной нагрузки и сроком эксплуатации. Например, на территории Минска выявлены улицы, посадки на которых идентифицированы как «поврежденные» и «ослабленные». В основном это улицы с интенсивными транспортными нагрузка-

ми (1–2-й категории) – пр. Независимости, Победителей, Пушкина, Дзержинского, ул. Сурганова, Немига, Московская, Ванеева, Аэродромная, Орловская, Филимонова и др. Большинство деревьев здесь имеют значительное повреждение листьев (побурение края или большей части листовых пластинок, их скручивание, раннюю дефо-

лиацию и др.), усохшие ветви, повреждения коры на стволах и ветвях, и другие признаки ослабления. Однако иногда «ослабленные» и «поврежденные» посадки диагностируются и на улицах 4-й и 5-й категорий. Как правило, ослабление деревьев отмечается на участках, где они произрастают в лунках, окруженных асфальтом, или находятся в зонах воздействия теплотрасс (например, ул. Ф. Скорины), а также стационарных источников выбросов. Отмечается ослабление молодых деревьев в новых микрорайонах и ста-

рых – на участках улиц с длительным сроком эксплуатации.

Для оценки связи состояния древесных насаждений с уровнем техногенной нагрузки на примере Минска были рассчитаны средние арифметические взвешенные значения индекса состояния и индекса потенциальной устойчивости древесных посадок на улицах различных категорий по интенсивности выбросов (идентификация улиц по интенсивности выбросов проведена с использованием схемы ГУ «Минский городской центр гигиены и эпидемиологии») (таблица).

Таблица. Индекс состояния и потенциальной устойчивости древесных посадок вдоль улиц, различающихся интенсивностью выбросов (Минск)

Категория улиц по интенсивности выбросов	Индекс состояния ($L, \%$)	Индекс потенциальной устойчивости (к загрязнению воздуха)
1	72,3	3,7
2	78,1	3,5
3	79,4	3,4
4	80,4	3,3
5	81,7	3,3

Коэффициент детерминации (R^2) между категориями улиц по интенсивности выбросов и индексом состояния древесных насаждений ($L, \%$) оценивается в 0,8. Это свидетельствует о высоком влиянии на состояние посадок интенсивности транспортного потока и позволяет утверждать, что ведущую роль в угнетении деревьев играет загрязнение среды эмиссиями автотранспорта. Необходимо отметить, что воздействие на растения загрязнения среды автотранспортом проявляется неравномерно вдоль одной и той же улицы. Нами часто наблюдались случаи сильного ослабления (вплоть до усыхания) деревьев на участках улиц вблизи перекрестков и остановок общественного транспорта, что возможно объяснить повышенными концентрациями выбросов автотранспорта на данных участках, а также более частым использованием антигололедных добавок (на остановках). При удалении от дорожного полотна (в случае многорядных посадок) отмечается, как правило, улучшение состояния деревьев.

Экологическое состояние почвогрунтов, в том числе их засоление антигололедными добавками, также в значительной степени воздействует на растения в придорожных посадках [13, 14, 16, 17]. В процессе исследований на некоторых улицах Минска (пр. Пушкина, Партизанский, ул. Казинца и Столетова) были выявлены высокие значения водородного показателя почвенног растворя – 8,92 (при диапазоне значений от 8,52 до 9,73). Почвы по всей глубине корнеобитаемого слоя классифицируются как «щелоч-

ные» и «сильнощелочные». Данные о зольности почв, свидетельствующие о содержании в них органического вещества, показали, что среднее его содержание в почве составляет 2 % при диапазоне от 0,46 до 5 %. Значения электропроводности почвенного раствора, позволяющие судить о сумме солей, содержащихся в почве, изменяются от 22,0 до 544 мкСм/см, а ее средние значения составляют 192,0 мкСм/см. Суммарное содержание солей в почве в непосредственной близости от дорожного полотна (1–2 м) составляет 577,6–1737,1 мг/кг (среднее 1053,9 мг/кг). В ионном составе водных вытяжек из почв среди анионов доминируют хлориды, на их долю приходится 81 %-экв. от всех анионов, среди катионов – натрий (64 %-экв.). Содержание данных ионов в метровом слое почвы в зоне до 2 м от дорожного полотна изменяется у хлоридов от 40,0 до 886,5 мг/кг (среднее 263,9 мг/кг), у натрия от 70,0 до 590,0 мг/кг (среднее 286,6 мг/кг).

Коэффициент детерминации (R^2) между средневзвешенными показателями электропроводности почвенного раствора под деревьями в посадках и индексом их состояния был оценен в 0,43. Это свидетельствует о том, что степень ослабления древесных насаждений во многом определяется также повышенным содержанием солей в почве [14].

Как видно из таблицы, индекс потенциальной устойчивости древостоя к загрязнению воздуха, рассчитанный как среднее взвешенное значение классов устойчивости видов, участвующих в составе посадок, снижается на улицах

с более высокими нагрузками. Это обусловлено тем, что на центральных улицах города, подверженных более высоким нагрузкам, в составе древостоев преобладают малоустойчивые к загрязнению воздуха виды, что снижает общую потенциальную устойчивость посадок. Данный парадокс можно объяснить тем, что на магистральных улицах городов традиционно высаживаются липа мелколистная и конский каштан обыкновенный (4-й класс устойчивости, согласно [12]). Выбор данных видов для озеленения связан с высокой декоративностью, хорошей переносимостью формирующей и омолаживающей обрезки, удобной для условий транспортных зон городов корневой системой данных пород (не образуют корневые лапы, разрушающие дорожные и тротуарные покрытия). В 50-е – 60-е годы прошлого века в городах широко практиковалась посадка различных видов тополя, которые обладают как рядом достоинств (устойчивы к загрязнению воздуха, быстро растут, имеют большую ассимиляционную фитомассу, хорошо переносят обрезку), так и недостатками (быстро стареют, имеют высокую раскидистую крону, образуют пух, а также корни, разрушающие покрытия и др.). Следует отметить, что тополя до настоящего времени встречаются в насаждениях вдоль улиц в городах (рис. 1, 2), а также вдоль автомагистралей страны.

Значения индекса состояния различных видов деревьев в посадках вдоль улиц и дорог в других обследованных городах страны (рис. 5) демонстрируют сходную ситуацию ослабления малоустойчивых видов (липы мелколистной, конского каштана обыкновенного, сосны обыкновенной, ели европейской и др.), а также более устойчивых видов (тополей бальзамического, лавролистного, вяза шершавого, например). Ослабление состояния последних можно объяснить повреждением энтомовредителями, а также изменением микроклиматических условий. При сравнении состояния представителей одного рода заметно лучшее состояние липы крупнолистной (3-й класс устойчивости, согласно [12]), по сравнению с липой мелколистной (4-й), ели колючей (2-й класс), по сравнению с елью обыкновенной (4-й), вяза гладкого (2-й) по сравнению с вязом шершавым, тополей канадского (2-й) по сравнению с тополем бальзамическим, лавролистным и пирамидальным (рис. 4, 5).

Помимо высокого уровня загрязнения воздуха и почв в ряде исследований указываются и другие причины ухудшения состояния придорожных посадок, из которых выделяются: изменение микроклиматических условий, недостаток основных элементов питания в почвогрунтах придо-

рожных полос в городах (особенно в корнеобитаемом горизонте), изменения pH почвенных растворов и других агрохимических показателей [3, 17]. Причиной повреждения посадок могут являться также неблагоприятные погодные условия (засухи, ураганные ветры, сильные морозы и др.), повреждения корневой системы во время укладки тротуарной плитки, коммуникаций, размещение деревьев вблизи теплотрасс, произрастание их в узких лунках в асфальте и др. Существенное ослабление деревьев вызывается также массовым развитием энтомовредителей и болезней растений. Фитопатологические исследования насаждений на магистралях в Минске [5] зафиксировали повреждения деревьев вредителями (на листьях липы, конского каштана, клена остролистного отмечены пятнистости, вызываемые грибами рода *Cercospora*, *Gloesporium*, *Sep-toria*, *Phyllosticta*). На молодых деревьях липы отмечены поражения ветвей грибами *Thyrostroma cetratum* Sacc. и *Cytospora chrysosperma* (Pers.) Fr. Помимо того, при обследованиях на листьях лип и кленов нами часто отмечались повреждения галицей, тополей и каштанов – молью, вяза и липы – тлей и клещами, пихты – елово-пихтовым хермесом и другими вредителями, которые наряду с высокими техногенными нагрузками также являлись причиной значительного ослабления пораженных деревьев.

Снижение жизненного состояния древесных насаждений в посадках вдоль улиц в городах показывает, что за растениями, испытывающими высокие техногенные нагрузки, необходим тщательный уход. Особенно он важен для деревьев ранних групп возраста. Подготовку почвы в посадочных ямах следует проводить с соблюдением всех агротехнических требований [12]. Для вновь посаженных растений важен частый полив, рыхление пристволовых лунок, внесение удобрительно-мелиорирующих составов. Промывка почвогрунтов в придорожных посадках в период весенних засух является необходимой мерой для снижения повышенных концентраций ионов натрия и хлора, которые создают условия для появления эффекта физиологической засухи. В придорожных посадках на улицах с интенсивным движением следует также дождевать кроны деревьев и кустарников, так как листья их на данных участках обычно покрыты слоем копоти, пыли, особенно во второй половине лета при низком количестве атмосферных осадков. Весьма важно формирование устойчивого к загрязнению воздуха ассортимента древесных растений, который достаточно детально разработан для условий Беларуси [1].

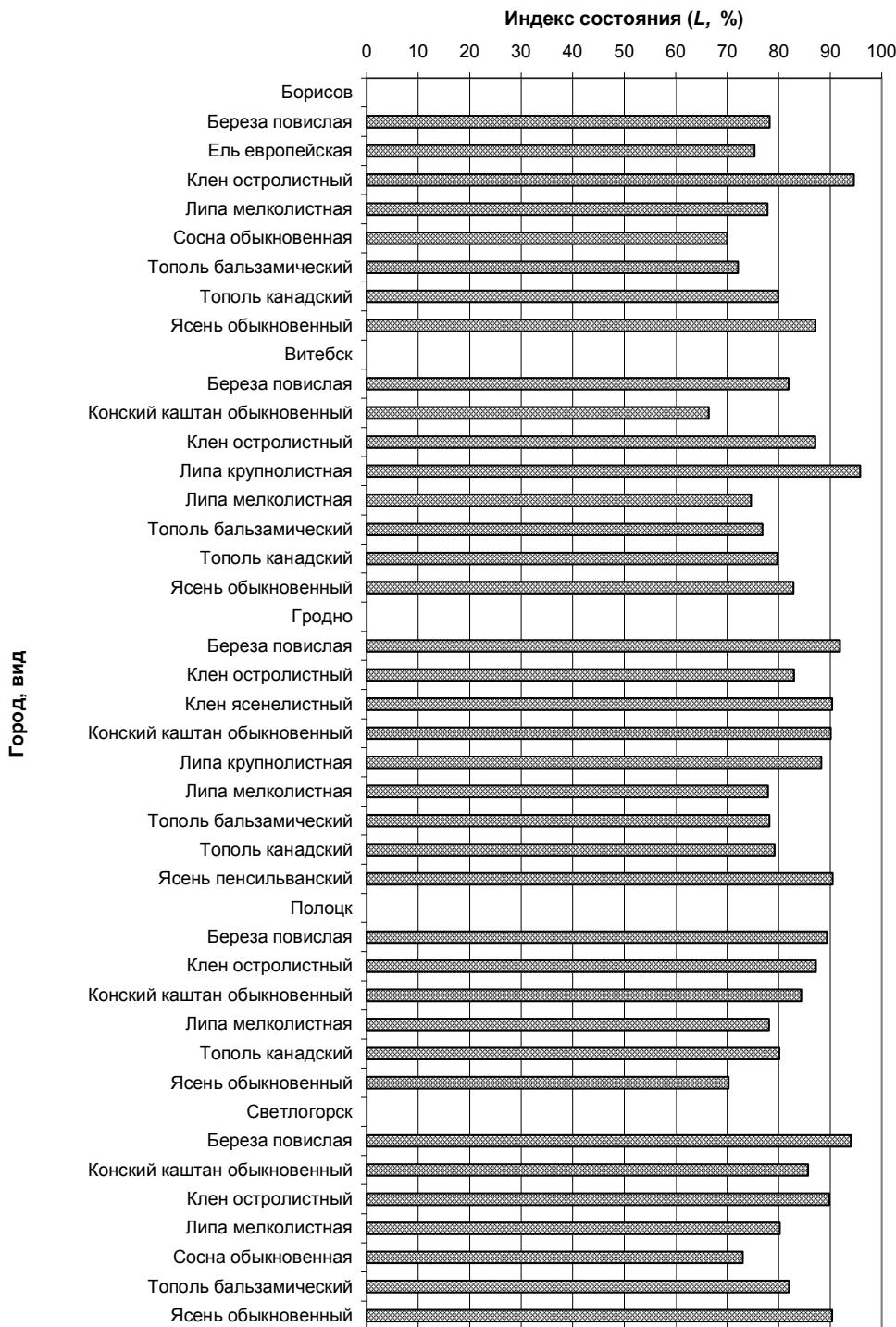


Рис. 5. Значения индекса состояния ($L, \%$) деревьев различных видов, часто встречающихся в посадках вдоль улиц и дорог Борисова, Витебска, Гродно, Полоцка и Светлогорска

Таким образом, исследования структуры, состояния и устойчивости древесных насаждений вдоль улиц и дорог в ряде городов страны показали высокую долю в их составе малоустойчивых видов. Расчеты индекса состояния древостоя (на примере Минска) демонстрируют ухудшение состояния посадок до категории «ослаб-

ленные» и «поврежденные», особенно на улицах с высокой интенсивностью автотранспортной нагрузки.

На примере Минска установлена высокая зависимость состояния древесных посадок уровня техногенных нагрузок, показателей электропроводности почвенного раствора (уровня засо-

ления почв), а также потенциальной устойчивости посадок.

Ослабленное состояние ряда пород (липы мелколистной, конского каштана обыкновенного, ели европейской, сосны обыкновенной и др.) в обследованных городах можно связать с их низкой устойчивостью к загрязнению воздуха. Выявлено более ослабленное состояние посадок ранних групп возраста, а также старых деревьев. При этом следует заметить, что структура насаждений в транспортных зонах городов изменяется (взамен старых, сильно ослабленных и усущих высаживаются новые деревья). Из года в год изменяется также состояние посадок, что определяется в основном растущими техногенными нагрузками, погодными условиями, агротехническими

мероприятиями, а также вспышками энтомовредителей и болезней растений.

Полученные в процессе исследований данные свидетельствуют о необходимости принятия комплексных мер по повышению устойчивости придорожных посадок, среди которых: снижение уровня техногенных нагрузок; подбор устойчивого ассортимента вновь высаживаемых растений, как к загрязнению воздуха, почв, так и к микроклиматическим особенностям придорожных полос; промывка почвогрунтов в ранний весенний период; дождевание крон деревьев на участках с высокими транспортными нагрузками (в засушливые летние месяцы); подкормка посадок минеральными и органическими удобрениями, использование мелиорирующих составов для снижения уровня засоления почв и др.

Л и т е р а т у р а

1. Ассортимент аборигенных и интродуцированных деревьев и кустарников, рекомендуемых для озеленения промышленно-городских территорий, автомагистралей, в зонах загрязнения воздуха газообразными соединениями азота, формальдегидом, бенз(а)пиреном, хлористым водородом / С. А. Сергейчик [и др.]. Минск, 2005.
2. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. М., 1988.
3. Генин Ф. А. Рост и развитие древесных растений в городских посадках и эдафические условия их произрастания: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1988.
4. Городков А. В. Ландшафтно-средозащитное озеленение и его влияние на экологическое состояние крупных городов Центральной России: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб.–Брянск, 2000.
5. Дишук Н. Г. Фитосанитарное состояние древесных насаждений на магистралях г. Минска // Экология большого города: Альманах. М., 2003. С. 85–88.
6. Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. М. Трешоу, Д. Г. Жилет, Э. Робинсон и др. Л., 1988.
7. Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. Киев, 1978.
8. Кравчук Л. А. Структурно-функциональная организация ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси. Минск, 2011.
9. Кулагин Ю. З. Индустриальная дендроэкология и прогнозирование. М., 1985.
10. Методические подходы к оценке и картографированию состояния и устойчивости насаждений городов к антропогенным воздействиям / А. В. Пугачевский [и др.] // Природные ресурсы. 2007. № 3. С. 34–46.
11. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск, 1979.
12. Правила по организации и ведению зеленого хозяйства в городах Республики Беларусь // Сборник нормативных документов по охране окружающей среды. Вып. 18. Минск, 1997. С. 50–111.
13. Пугачевский А. В. Состояние зеленых насаждений в зоне воздействия Минской кольцевой автодороги, пути повышения их устойчивости / А. В. Пугачевский [и др.] // Ботаника: исследования. Вып. XXXIV (Юбилейный выпуск, посвященный 75-летию ИЭБ им. К. И. Купревича НАН). Минск, 2006. С. 220–235.
14. Рыжиков В. А. Эколого-геохимическая оценка автотранспортных ландшафтно-функциональных комплексов (на примере г. Минска): Автореф. дис. ... канд. географ. наук. Минск, 2010.
15. Сергейчик С. А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск, 1994.
16. Содержание ионов хлора в почвах под зелеными насаждениями Минска и аккумуляция их в асимбиляционных органах деревьев / Е. А. Сидорович [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. біялаг. навук. 2001. № 1. С. 9–13.
17. Состояние зеленых насаждений в Москве: аналитический доклад. М., 2003.
18. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень, 2008 / Под ред. В. Ф. Логинова. Минск, 2009.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 19.08.2011

Л. А. Кравчук, В. А. Рыжиков

**СТРУКТУРА, СОСТОЯНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
В ПОСАДКАХ ВДОЛЬ УЛИЦ И ДОРОГ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ**

На основании обследований деревьев в придорожных посадках в некоторых городах Беларуси (Минске, Витебске, Гродно, Полоцке, Борисове и Светлогорске) проведена оценка структуры посадок, их состояния и устойчивости. Выявлено, что в этих городах в придорожных посадках высока доля малоустойчивых к загрязнению воздуха видов (*Tilia cordata* и *Aesculus hippocastanum*) (соответственно 32,7–51,5 % и 7,3–27,5 %).

Наибольшее повреждение было отмечено в посадках деревьев ранних молодых и старых групп возраста. Для Минска был рассчитан коэффициент детерминации между категориями улиц по интенсивности выбросов и индексом состояния деревьев на них. Его значение ($R^2 = 0,8$) свидетельствует о высоком влиянии на состояние посадок уровня загрязнения воздуха автотранспортом.

Воздействие на деревья засоления почв (от противогололедных смесей) оценивалось при со-поставлении значений электропроводности почвенных растворов в лунках под деревьями и категории состояния деревьев ($R^2 = 0,43$).

L. A. Kravchuk, V. A. Ryzhikov

**STRUCTURE, CONDITION AND STABILITY OF
ROADSIDE PLANTINGS IN CITIES OF BELARUS**

*On the basis of investigations of trees in roadside plantings in some cities of Belarus (Minsk, Vitebsk, Grodno, Polotsk, Borisov and Svetlogorsk) the estimation of structure of plantings, their conditions and stability has been done. It has been revealed that in these cities in roadside plantings the share of small resistant to air pollution species (*Tilia cordata* and *Aesculus hippocastanum*) is high (accordingly 32,7–51,5 % and 7,3–27,5 %).*

The greatest damage has been noted on the trees of early young and old age groups. The determination factor between categories of streets in Minsk (on intensity of emissions) and indexes of condition of plantings has been calculated. Its value ($R^2 = 0,8$) testify about high influence of air pollution by motor transport on a condition of plantings.

Influence of the soils salinization (from anti-icing mixes) on the trees has been estimated by comparison of values electric conductivity of soil solutions under trees and categories of condition of trees (the determination factor $R^2 = 0,43$).

II. БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 553.97+631.41

Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Немкович

ПРИЧИНЫ СЛАБОЙ РАСТВОРИМОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ВЕРХОВОГО ТОРФА В ВОДЕ

Основной причиной нерастворимости в воде натуральных гуминовых кислот (ГК) торфа верхового типа является образование в кислой среде межмолекулярных водородных связей. Нейтрализация кислой среды обеспечивает свободный переход в водный раствор ГК, обогащенных полярными функциональными группами.

В связи с расширением практического использования водорастворимых фракций ГК в различных отраслях возникает необходимость их получения технологическими методами в больших количествах. Для этого следует изучить причины и условия нерастворимости ГК в воде.

В торфе низинного типа существуют как минимум две группы водорастворимых ГК. Первая – ГК, растворяющиеся в воде без предварительного воздействия на торф химическими или физическими методами, вторая – ГК, способные переходить в водный раствор только после разрушения связей с поливалентными катионами, например путем проведения реакций обмена поливалентных катионов на одновалентные [4]. Первая группа названа свободными водорастворимыми ГК, вторая – обменно-связанными. При этом термин «свободные» является условным, означающим только возможность перехода ГК в водный раствор, хотя такие ГК могут быть представлены водорастворимыми гуматами кальция, железа, меди, цинка и т. п.

Торф верхового типа, в отличие от низинного, формируется в условиях повышенной кислотности (рН в KCl 2,5–3,5), поэтому возможность образования гуматов кальция, железа и других поливалентных катионов сведена к минимуму. Несмотря на это, растворимость ГК торфа верхового типа в воде также мала, как и низинного. С точки зрения современных знаний о строении молекул (наличие полярных функциональных групп, низкомолекулярных фракций, гидрофильных фрагментов и т. п.) в торфе верхового типа имеется значительное количество ГК, способных к растворению в воде, однако в действительности они очень слабо растворяются в ней. Причины этого пока не вполне понятны.

Цель настоящей работы – выяснение причин нерастворимости ГК верхового торфа в воде.

Гуминовые вещества (ГВ) выделяли из двух образцов торфа верхового типа: 1-й – пущевый торф со степенью разложения (R) 40 %, зольностью (A) 1,8 % и рН в KCl 3,2 из торфяного месторождения Дукора; 2-й – сосново-пущевый торф ($R = 45\%$; $A = 2,7\%$) и рН в KCl 3,3 из торфяного месторождения Радемье. Торф сушили до воздушно-сухого состояния, измельчали, просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм и использовали для экстракции ГВ.

Сравнивали следующие варианты выделения ГВ: 1) экстракция водой (рН 5,8); 2) экстракция водой, затем 0,1 н. NaOH; 3) декальцирование 0,1 н. H₂SO₄, затем 0,1 н. NaOH; 4) экстракция 5 М NaCl; 5) экстракция 0,2 М NaHCO₃; 6) экстракция 0,2 М NaHCO₃, затем 0,1 М Na₄P₂O₇; 7) экстракция 0,1 М Na₄P₂O₇.

Во всех вариантах соотношение между торфом и экстрагентом было 1:50, температура экстракции 18–20 °C, продолжительность настаивания составляла 18–20 ч при периодическом перемешивании суспензий через каждые 30 мин в течение первых 6 ч. Экстракти отделяли от остатка торфа фильтрованием. Для удаления коллоидных частиц непрозрачные экстракти подвергали дополнительному 20-минутному центрифугированию при 8000 об./мин на центрифуге ОП-8УХЛ4.2.

Из полученных экстрактов ГК осаждали подкислением 10 %-й серной кислотой до рН 1 и далее препараты получали по методике [3]. Содержание ГВ и ГК определяли серно-хромовым методом [1], содержание фульвокислот (ФК) определяли по разности показателей ГВ и ГК. Ошибка определения этих компонентов составляет ±0,8 % [9]. Результаты представлены в таблице.

Свободные водорастворимые ГВ выделяли настаиванием торфа с дистиллированной водой (вариант 1). Выход водорастворимых ГВ из пу-

шицевого и сосново-пушицевого видов торфа не значителен и составляет соответственно 0,48 и 0,26 %, водорастворимых ГК – следы, значит, практически всю массу извлеченных водой ГВ составляют ФК. Однако при экстракции водой двух образцов низинного торфа в аналогичных условиях было получено по 0,36 % ГК [4].

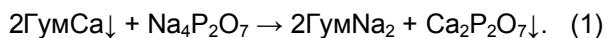
Максимальный выход ГВ и ГК получен при экстракции 0,1 М раствором едкого натра (варианты 2 и 3). В варианте 3 для обмена ионов двух- и поливалентных металлов, удерживаемых карбоксильными группами ГВ, на ионы водорода было проведено декальцирование изучаемых образцов торфа настаиванием с 0,1 н. серной кислотой. Разница в выходе ГК между вариантами 2 и 3 не превышает 1,5 %, но эти результаты указывают на то, что в верховом торфе даже при высокой кислотности и часть ГК находится в солевой форме в виде гуматов двух- и поливалентных металлов.

Таблица. Содержание ГВ, ГК и ФК в верховом торфе, %

Номер варианта	Экстрагент	Пушицевый			Сосново-пушицевый		
		ГВ	ГК	ФК	ГВ	ГК	ФК
1	Вода	0,48	Следы	0,48	0,26	Следы	0,26
2	Вода, затем 0,1 н. раствор NaOH	30,17	26,46	3,71	21,95	21,12	0,83
3	0,1 н. H ₂ SO ₄ , затем 0,1 н. NaOH	30,42	28,63	1,79	23,38	22,54	0,84
4	5 М NaCl	0	0	0	0	0	0
5	0,2 М NaHCO ₃	10,75	10,14	0,61	4,87	3,39	1,48
6	0,2 М NaHCO ₃ , затем 0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇	2,77	–	–	0,81	–	–
7	0,1 М Na ₄ P ₂ O ₇	8,45	7,72	0,73	3,39	2,49	0,90

Экстракцией 2 М NaHCO₃ (вариант 5) извлекается лабильная фракция ГВ [5]. В пушицевом торфе ее содержится примерно в 3 раза больше, чем в сосново-пушицевом, что связано с различиями в зольности и составе золы этих образцов торфа и в степени разложения. Из низинного торфа выход лабильной фракции ГК был меньше – около 2,3–3,6 % [5], так как основное их количество в низинном торфе связано с ионами поливалентных металлов, препятствующими растворению ГК в бикарбонате натрия. В верховом торфе содержание катионов поливалентных металлов незначительно (см. табл.) поэтому выход лабильной фракции ГВ существенно выше, по сравнению с низинным.

В варианте 6 применена последовательная экстракция ГВ сначала бикарбонатом, а затем пирофосфатом натрия. Основная идея применения пирофосфата натрия состоит в том, чтобы из реакции обмена катионов двух- и поливалентных металлов на ионы натрия выводить поливалентные катионы в виде нерастворимых пирофосфатов кальция, железа и других:



В варианте 4 для проведения реакции обмена двух- и поливалентных катионов, связанных с ГВ, на ионы натрия торф обработали 5 М раствором NaCl, однако каких-либо ГВ не было получено из-за того, что торф не смачивался раствором хлорида натрия даже при увеличении продолжительности настаивания до 40 ч. При аналогичной экстракции низинный торф смачивался, и выход ГК, выделенных 5 М NaCl, составил 3,53 % из тростникового и 2,53 % из древесно-тростникового торфа [4]. Такие различия между низинным и верховым торфом можно объяснить высокой битуминозностью последнего, препятствующей смачиванию его раствором хлорида натрия. Известно, что наиболее битуминозными являются сосновый, пушицевый, сосново-пушицевый, сосново-сфагновый и пушицово-сфагновый виды торфа верхового типа [9]. В данную группу входят и изучаемые нами образцы.

Это позволяет исключить возможность обратной реакции и перевести всю массу нерастворимых гуматов двух- и поливалентных металлов в растворимые гуматы натрия. Доказано [3], что после удаления ГК, растворимых в пирофосфате натрия, дополнительно водой извлекается еще некоторое количество водорастворимой фракции ГК при pH 5,5–7,0. Значит, водорастворимые фракции ГК могут переходить в раствор, когда не во всех карбоксильных группах ионы водорода замещены на ионы одновалентных катионов. Главное условие – разрыв межмолекулярных водородных связей при нейтрализации кислой среды.

Результаты варианта 6 показывают, что пирофосфат натрия после бикарбоната натрия доизвлекает ту часть ГВ, которая связана с двух- и поливалентными металлами и которая поэтому не была извлечена бикарбонатом натрия. В верховом торфе она составляет не более 3 % из-за низкого содержания минеральных веществ и кислой реакции среды в торфяной залежи.

Наибольший интерес представляют данные варианта 7 по выходу фракции ГВ, экстрагируемой 0,1 М Na₄P₂O₇ при pH 7. В пушицевом торфе доля фракции достигает 10 %, в то время

как с поливалентными металлами связано лишь 2,8 % ГВ. Это означает, что нейтральный раствор пирофосфата натрия извлекает часть ГВ, которая в торфе не связана с двух- и поливалентными катионами, но в условиях кислой среды верхового болота по какой-то причине не может растворяться в воде.

Вероятнее всего, в торфе верхового типа образуются надмолекулярные структуры ГВ, не позволяющие отдельным молекулам переходить в водный раствор. В молекулах ГК имеются функциональные группы (карбоксильные, гидроксильные), в которых атомы водорода связаны с сильноэлектроотрицательными атомами кислорода. В таких группах атомы водорода поляризуются вследствие смещения электронов к атомам кислорода. Состояние и свойства поляризованных атомов водорода приближаются к состоянию и свойствам ионов водорода H^+ . Вследствие этого появляется возможность образования водородных связей между функциональными группами разных молекул или между фрагментами одной молекулы. Благодаря возникновению межмолекулярных водородных связей образуются нерастворимые в воде ассоциаты молекул ГК. Доказано, что такие ассоциаты проникаемы для воды и растворенных в ней ионов [5–7]. Образование ассоциатов молекул по указанному механизму широко распространено в природных и синтетических средах. Например, из-за наличия сильных водородных связей серная кислота не летучая, а муравьиная кислота даже в парах существует в виде ассоциатов молекул, так как энергия водородной связи между молекулами в муравьиной кислоте составляет 16 ккал/моль [8, 11].

Энергия водородных связей ГВ пока не изучена, но вполне очевидно, что ее достаточно, чтобы молекулы прочно удерживались в ассоциатах и не растворялись в воде. Для того чтобы молекулы ГК растворились в воде, необходимо разрушить водородные связи между ними, что достигается созданием нейтральной или щелочной среды с замещением водорода карбоксильных групп на одновалентные катионы натрия, калия, аммония и другие. В отличие от ГК твердые сухие препараты гуматов одновалентных катионов не имеют межмолекулярных водородных связей и поэтому хорошо растворяются в воде.

Другими причинами, препятствующими растворению ГК в воде, являются большая молекулярная масса и наличие в их молекулах гидрофобных фрагментов. Экспериментально показано, что у ГК торфа имеются молекулы с преобладанием как гидрофильных, так и гидрофобных фрагментов [8, 10], от соотношения которых зависит способность ГК к растворению. Генетической особенностью формирования ГК торфа является увеличение количества полярных кислородсодержащих функциональных групп в их молекулах с уменьшением молекулярной массы [2], поэтому наиболее легко растворяются их фрак-

ции с меньшей молекулярной массой. Такие фракции могут растворяться в нейтральных растворах солей:



Фракции с выраженным гидрофобными свойствами в нейтральных солях не растворяются, но растворяются при более высоких значениях pH, когда фенольные гидроксили диссоциируют и обменивают ионы водорода на ионы одновалентных катионов.

В щелочной среде легко разрушаются лактонные кольца в молекулах ГК с образованием карбоксилов, которые сразу же замещаются ионами одновалентных металлов или аммония в зависимости от вида используемой щелочи, что также способствует растворению фракций с выраженным гидрофобными свойствами.

В отличие от изолированных препаратов, у натуральных ГК, находящихся в торфе, карбоксильные группы могут быть как в H-форме, так и в замещенной форме (гуматы кальция, магния, железа и других поливалентных катионов). При этом в торфе верхового типа, формирующемся в условиях кислой среды, карбоксильные группы ГК находятся преимущественно в H-форме при небольшой доле карбоксилов в солевой форме, а у торфа низинного типа, формирующемся в условиях среды с pH 5,0–7,5, наоборот, водород карбоксильных групп преимущественно замещен ионами двух- и поливалентных металлов. Межмолекулярных водородных связей в ГК низинного торфа меньше, чем в их изолированных препаратах, но наличие гуматов поливалентных металлов создает дополнительные трудности в растворении ГК, так как необходимо сначала заместить ионы кальция, магния, железа и других на ионы одновалентных катионов.

Выходы

1. Причинами нерастворимости ГК в воде являются: образование ассоциатов молекул за счет межмолекулярных водородных связей, замещение водорода карбоксильных групп на ионы двух- и поливалентных металлов, преобладание гидрофобных фрагментов молекул над гидрофильными и большая молекулярная масса.

2. Основной причиной нерастворимости в воде натуральных ГК торфа верхового типа является образование в кислой среде межмолекулярных водородных связей. Нейтрализация кислой среды обеспечивает свободный переход в водный раствор ГК, обогащенных полярными функциональными группами.

3. В целях практического получения водорастворимых ГК необходимо применять технологические приемы, уменьшающие молекулярную массу ГК и обогащающие их молекулы полярными функциональными группами. Перспективными технологическими приемами могут быть окисление, фотолиз, кавитация, механодеструкция и др.

Л и т е р а т у р а

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1962.
2. Бамбалов Н. Н. Изменение физико-химических свойств гуминовых кислот в процессе гумификации торфов: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Минск, 1968.
3. Бамбалов Н. Н., Беленькая Т. Я. Методика фракционно-группового анализа органического вещества торфяных почв // Мелиорация и проблемы органического вещества. Минск, 1974. С. 92–102.
4. Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В. Физико-химические свойства водорастворимых гуминовых веществ низинного торфа // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. наукаў. 2009. № 2. С. 91–96.
5. Бамбалов Н. Н., Смирнова В. В., Беленькая Т. Я., Хоружик А. В. Содержание лабильной фракции гумусовых веществ в торфе и торфяных почвах // Агрохимия. 2003. № 6. С. 14–20.
6. Гамаюнов Н. И., Косов В. И., Масленников Б. И. Ионообменные процессы и электрохимические явления в набухающих природных и синтетических ионитах. Тверь, 1999.
7. Драгунов С. С., Рождественский А. П. Извлечение торфяных гуминовых кислот аминами жирного ряда // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Часть III. Киев, 1968. С. 206–211.
8. Киреев В. А. Краткий курс физической химии. М., 1962.
9. Лиштван И. И., Король Н. Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск, 1975.
10. Марыганова В. В., Бамбалов Н. Н., Шайдак Л. и др. Гидрофобно-гидрофильные свойства гуминовых веществ торфа по данным хроматографии гидрофобного взаимодействия // Природопользование. 2004. Вып. 10. С. 119–125.
11. Терешин Г. С. Химическая связь и строение вещества. М., 1980.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 15.08.2011

Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Немкович

ПРИЧИНЫ СЛАБОЙ РАСТВОРИМОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ВЕРХОВОГО ТОРФА В ВОДЕ

Установлено, что причинами нерастворимости ГК в воде являются: образование ассоциатов молекул за счет межмолекулярных водородных связей, замещение водорода карбоксильных групп на ионы двух- и поливалентных металлов, преобладание гидрофобных фрагментов молекул над гидрофильными и большая молекулярная масса.

Основной причиной нерастворимости в воде натуральных ГК торфа верхового типа является образование в кислой среде межмолекулярных водородных связей. Нейтрализация кислой среды обеспечивает свободный переход в водный раствор ГК, обогащенных полярными функциональными группами.

В целях практического получения водорастворимых ГК необходимо применять технологические приемы, уменьшающие молекулярную массу ГК и обогащающие их молекулы полярными функциональными группами. Перспективными технологическими приемами могут быть окисление, фотолиз, кавитация, механодеструкция и др.

N. N. Bambalov, V. V. Smirnova, A. S. Nemkovich

REASONS OF WEAK SOLUBILITY OF HUMIC ACIDS OF RAISED PEAT IN WATER

It has been found that reasons of HA non-solubility in water are: formation of associates of molecules due to inter-molecular hydrogen links, substitution of hydrogen of carboxylic groups by ions of two- and polyvalent metals, prevalence of hydrophobic molecules fragments over hydrophilic and great molecular weight.

Main reason of insolubility of natural HA of peat of raised type in water is formation in acidic medium of molecular hydrogen links. The neutralization of acidic medium provides free transition into aqueous solution of HA, enriched with polar functional groups.

For practical reasons to obtain water-soluble HAs it is necessary to apply technological techniques, decreasing HA molecular mass and enriching their molecules with polar functional groups. Perspective technological means may be oxidation, photoliz, cavitation, mechanical destruction, etc.

УДК 622.331; 553.973

О. М. Гайдукевич, Б. В. Курзо, И. В. Кляуззе, П. А. Зданович

ДИНАМИКА СУШКИ САПРОПЕЛЯ В РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНОМ РЕЖИМЕ

Показана возможность сушки сапропеля в радиационно-конвективном режиме. Исследована динамика изменения влажностного состояния сапропеля. Полученные результаты необходимы для обоснования технологии производства органогенного сырья для сельского хозяйства.

Сапропель как ценный источник органического вещества находит применение в сельском хозяйстве, бальнеологии, промышленности строительных материалов и других отраслях. Сапропель, прежде всего, местное сырье, транспорт которого на большие расстояния экономически нецелесообразен, так как в естественном состоянии он содержит большое количество воды [1–3]. Удаление воды для получения кондиционной продукции из сапропеля представляет определенные трудности.

В данной работе на примере кремнеземистого и карбонатного сапропеля месторождения «Прибыловичи» Лельчицкого района Гомельской области анализируется процесс удаления избытка влаги из добываемого сырья посредством сушки в полевых и лабораторных условиях под действием солнечной радиации.

Общий объем сапропелевой залежи на месторождении «Прибыловичи» – 1058,4 тыс. м³ при средней мощности 1,4 м. Запасы составляют 644,8 тыс. т. На месторождении выявлен сапропель кремнеземистого, смешанного и карбонатного типов. Сапропель месторождения характеризуется следующими средними значениями: зольность – 56 % сухого вещества (СВ); влажность – 78,9; содержание SiO₂ – 21,1; CaO – 17,8; Fe₂O₃ – 8,0; SO₃ – 2,4; P₂O₅ – 0,6; N_{общ} – 1,3 %, pH – 6,6.

При исследовании полевой сушки карбонатного и кремнеземистого сапропеля месторождения «Прибыловичи» ежедневно фиксировали изменение содержания влаги в сапропеле, которую, зная начальные массу и влажность, определяли по убыли массы [9]. Для анализа полученных результатов использовали показатель влагосодержания, который определяет массу воды, приходящуюся на 1 кг сухого вещества сапропеля.

Сушку производили в летнее-осенний период 2009 г. в радиационно-конвективном режиме, при котором интенсивность испарения зависит от величины солнечной радиации, температуры и влажности воздуха, скорости ветра [1]. Суммарное воздействие перечисленных факторов выражается через интенсивность сушки (количество влаги, удаляемой с единицы площади сушки в единицу времени). За период наблюдений погодные условия характеризовали следующими климатическими параметрами: среднесуточной температурой воздуха, относительной влажностью, направлением и силой ветра, количеством выпавших осадков [5].

Среднесуточная температура и осадки за период наблюдений показаны на рис. 1. В целом погодные условия в летний период 2009 г. были благоприятны для полевой сушки сапропеля.

Основными технологическими параметрами, влияющими на длительность сушки, являются начальная влажность сапропеля и толщина расстила [1]. Сапропель месторождения «Прибыловичи» обладает достаточно низкой естественной (начальной) влажностью, так как сапропелевая залежь разрабатывается открытым способом с помощью экскаватора на осушенном озере. Для кремнеземистого и карбонатного сапропеля естественная влажность составляет соответственно 82,6 % и 71,1 %. Эксперименты проводили в цилиндрических емкостях диаметром 0,2 м с карбонатным и кремнеземистым сапропелем с различной начальной толщиной слоя расстила (0,4 м и 0,2 м). Третий вариант – кремнеземистый сапропель в емкости с толщиной слоя 0,2 м через каждые 6 ч перемешивали.

В эксперименте для карбонатного сапропеля при толщине слоя 0,4 и 0,2 м удельная загрузка по сухому веществу составляет соответственно 88,4 кг СВ/м² и 44,2 кг СВ/м². Вследствие более высокой естественной влажности для кремнеземистого сапропеля этот показатель – 39,6 кг СВ/м² для слоя 0,4 м и 19,8 кг СВ/м² для слоя 0,2 м.

Удаление воды происходит в большей степени за счет испарения с поверхности сапропеля [2–3]. Незначительная часть влаги в начальный период сушки удаляется фильтрацией в подстилающий грунт. Как показывают наши исследования, влагоотдача высушиваемого сапропеля за счет фильтрации в подстилающий грунт прекращается при влажности материала около 86 %. Дальнейшая сушка идет в основном за счет испарения. Процесс осложняется пересыханием верхнего слоя материала, который достигает влажности, близкой к равновесной и уплотняется за счет усадки, что сдерживает влагоотдачу из нижележащих слоев сапропеля (рис. 2). Из-за несоответствия темпов удаления влаги темпу усадки в сапропеле происходит трещинообразование, которое увеличивает поверхность, с которой испаряется влага. Необходимо отметить, что величина испарения с водной поверхности за исследованный период почти в 2 раза выше, чем с поверхности сапропеля.

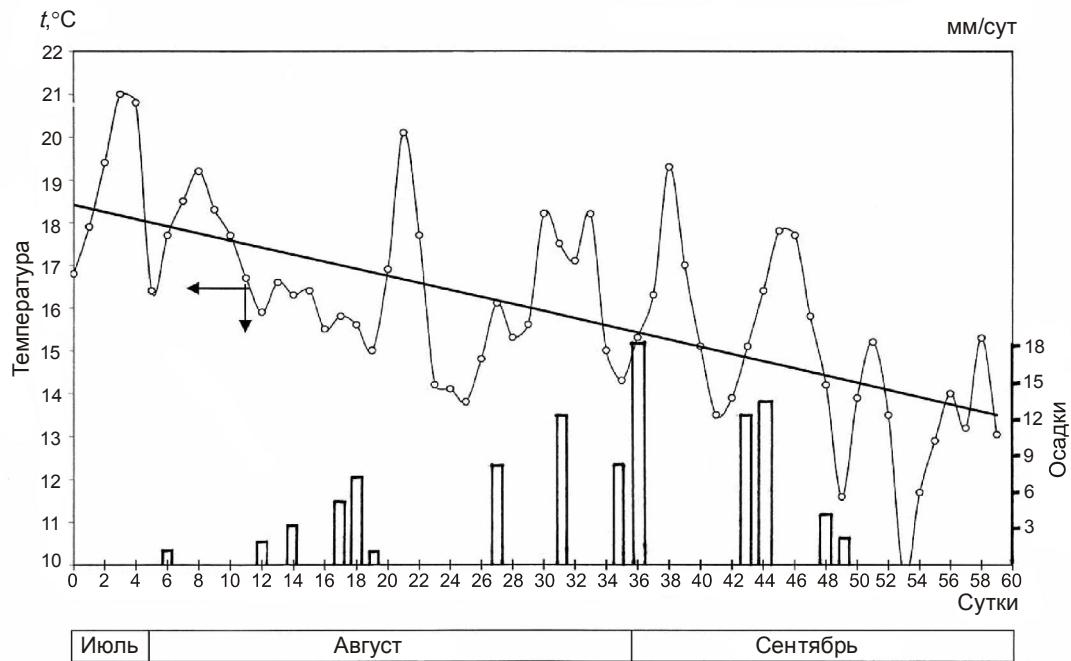


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха, тренд ее изменения и осадки за период наблюдений

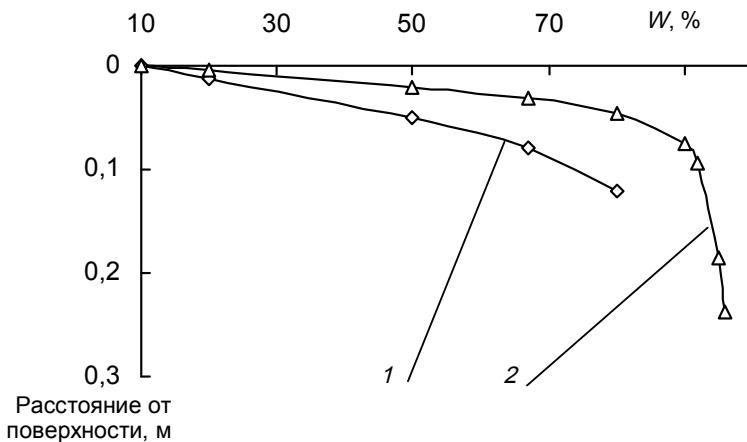


Рис. 2. Распределение влажности в сапропеле через 60 сут сушки при начальной толщине расстила 0,2 м (1) и 0,4 м (2)

Процесс сушки сапропеля можно условно разделить на два периода, которые характеризуются средней интенсивностью сушки i и продолжительностью t (табл. 1). В приведенной таблице указаны влажность W и влагосодержание U , которые имеют образцы сапропеля в конце каждого периода сушки. Параметры позволяют проследить динамику сушки.

Первый период характеризуется наибольшей интенсивностью сушки. На этом этапе особенно большой потерей влаги (от 3,3 до 4,7 $\text{кг}/\text{м}^2\text{сут}$) отличается карбонатный сапропель,

несмотря на значительно более низкую по сравнению с кремнеземистыми сапропелями естественную влажность. Интенсивность сушки кремнеземистого сапропеля на данном этапе — 1,6–2,5 $\text{кг}/\text{м}^2\text{сут}$. В конце первого периода, минимальная длительность которого составляет 16 сут для кремнеземистого сапропеля с перемешиванием, а максимальная — 32 суток для карбонатного сапропеля в слое 0,4 м, влажность карбонатного сапропеля снижается с 71,1 % до 32–51 %, кремнеземистого — с 82,6 % до 68–77 %.

Таблица 1. Результаты сушки сапропеля различных типов и толщины слоя месторождения «Прибыловичи»

Тип сапропеля	Толщина слоя, м	Особенности сушки	Период сушки					
			1			2		
			i , кг/м ² сут	t , сут	$W, \%$	U , кг/кг	i , кг/м ² сут	t , сут
Карбонатный	0,4	Без перемешивания	4,7	32	38	0,61	1,6	28
	0,2		4,0	20	32	0,47	0,3	40
		С перемешиванием	3,3	17	51	1,00	0,8	43
Кремнеземистый	0,4	Без перемешивания	1,6	27	77	3,34	0,7	32
	0,2		2,2	16	73	2,70	0,8	44
		С перемешиванием	2,5	22	68	2,12	0,5	38
								28
								0,39

Второй период характеризуется постепенно замедляющейся интенсивностью сушки, которая здесь в 2–5 раз ниже, чем на первом этапе, и составляет в среднем 0,3–1,6 кг/м² сут. Относительно большой интенсивностью испарения (1,6 кг/м² сут) характеризуется на этом этапе лишь сушка карбонатного сапропеля в слое 0,4 м.

В результате экспериментальных работ установлено, что сушка сапропеля заканчивается в основном через 50–60 сут, когда влажность его снижается до равновесной. Средняя по слою влажность карбонатного сапропеля в момент прекращения сушки составляет около 10–15 %. Для кремнеземистого сапропеля, сушка которого отличается пониженной скоростью отдачи влаги, конечная средняя влажность на 60-е сут сушки составляет 28–47 % в слое 0,2 м и около 73 % при сушке в слое 0,4 м. Сапропель с данными показателями по влажности может использоваться в качестве кормового и применяться для производства сапропелевых удобрений органо-кремнеземистого и органического вида по ТУ РБ 03535029.287-97 «Удобрения сапропелевые».

Сушка сапропеля сопровождается значительным уплотнением и объемной усадкой сырья. Карбонатный сапропель уменьшается в объеме в 4,5–4,8 раза, кремнеземистый – в среднем в 3,8 раза. У кремнеземистого сапропеля коэффициент объемной усадки составляет 0,6. У карбонатного сапропеля, который сушится без внешних воздействий (без перемешивания), этот показатель составляет порядка 1,5, у сапропеля данного типа, который при сушке перемешивается – 0,7. Величина усадки, по данным [7], зависит от первоначальной и конечной влажности, дисперсности и содержания органического вещества. С уменьшением начальной влажности и количества органического вещества усадка снижается. В целом сапропель обладают резко выраженной способностью к усадке при уменьшении влажности, что характерно для высокодисперсных пород с коагуляционными структурными связями.

Трудности отделения влаги обусловлены большой водоудерживающей способностью органического вещества сапропеля. В карбонатном

сапропеле отмечается снижение содержания воды, слабосвязанной с органическим веществом, из-за наличия в ионообменном комплексе катионов кальция и сдвига системы в сторону компактной коагуляции и уменьшения числа активных центров, связывающих воду. Вследствие этого характер сушки сапропеля разных типов различный. Как показали выполненные экспериментальные работы, карбонатный сапропель сохнет в виде монолита. Затем при значительной объемной усадке в монолите формируется система трещин, которые образуют дополнительные поверхности испарения влаги. Кремнеземистый сапропель озера Прибыловичи при сушке распадается на отдельные агрегаты размером 4–8 мм. При сушке карбонатного сапропеля в результате перемешивания происходит его измельчение с получением тонкодисперсного материала. Интенсивность сушки падает и увеличивается ее продолжительность до 10 сут (влажность 60 %), в то время как без перемешивания данной влажности карбонатный сапропель достигает за 7 сут.

Интенсивнее удаление влаги проходит у сапропеля, сушка которого происходит в более тонких слоях. Средняя влажность 60 % достигается к 7 сут сушки у карбонатного сапропеля слоем 0,2 м и на 14-е сут при слое 0,4 м. Кремнеземистый сапропель достигает влажности 60 % лишь на 27-е сут (если его перемешивают при сушке) и на 37-е сут – без перемешивания. Значительно замедлен процесс сушки кремнеземистого сапропеля, который сохнет в более толстом слое 0,4 м. Средняя по слою влажность такого сапропеля через 60 сут сушки составляет около 74 %.

Как показывают результаты эксперимента, перемешивание кремнеземистого сапропеля в начальный период сушки (0–9 сут до влажности около 76 %) не эффективно, так как сапропель имеет еще достаточную поверхность для испарения, поры его еще не закольматированы и достаточный подвод влаги к поверхности испарения.

Таким образом, эксперименты по полевой сушке карбонатного и кремнеземистого сапропеля месторождения «Прибыловичи» приводят к следующим выводам:

- погодные условия региона позволяют эффективно осуществлять полевую сушку сапропеля в летний период, и нет необходимости использовать энергоемкие средства обезвоживания – сушилки, прессы и т.д.;
- сушка сапропеля вследствие его сравнительно невысокой начальной влажности проходит в основном в радиационно-конвективном режиме с незначительной фильтрацией в подстилающий грунт на начальном этапе сушки;
- органическое вещество кремнеземистого сапропеля способно связывать большое количество воды, поэтому удаление влаги из него затруднительно. В карбонатном сапропеле удаление влаги происходит более интенсивно, чем из кремнеземистого с повышенным содержанием органического вещества;
- полевой сушкой сапропеля возможно снижение его влажности до уровня 50–60 %. Понижение влажности до 20–40 % в полевых условиях – достаточно длительный процесс, зависящий от погодных условий, поэтому для получения сапропеля такой влажности целесообразно производить его полевую сушку до влажности 50–60 % с последующей досушкой в сушильных установках;
- процесс сушки сапропеля кремнеземистого и карбонатного типов условно разделяется на периоды наибольшей интенсивности сушки и угасающей сушки. Средняя интенсивность сушки сапропеля в течение первого периода 1,6–4,7 кг/м²сут, второго – 0,3–1,6 кг/м²сут;
- сушка сапропеля сопровождается значительным уплотнением и объемной усадкой. Карбонатный сапропель уменьшается в объеме в 4,5–4,8 раза, кремнеземистый – в 3,8 раза;
- при сушке в благоприятных погодных условиях с минимальным количеством осадков кондиционной влажности 60 % карбонатный сапропель озера Прибыловичи достигает через 7–14 сут, кремнеземистый – через 27–37 сут;
- продолжительность сушки в среднем пропорциональна толщине сушимого слоя, предпочтительнее осуществлять сушку сапропеля в более тонких слоях, так как уменьшается ее зависимость от погодных условий;
- при сушке рекомендуется проводить рыхление сапропеля, увеличивающее поверхность испарения. Для кремнеземистого сапропеля начало рыхления рекомендуется примерно через 9–10 сут после начала сушки.

Литература

1. Антонов В. Я., Малков Л. М., Гамаюнов Н. И. Технология полевой сушки торфа. М., 1981.
2. Вирясов Г. П., Гайдукевич О. М., Федотов А. И. Технология сушки органического сапропеля при бесчековой организации расстила // Природопользование. Минск, 2000. Вып. 6. С. 153–156.
3. Глядко Т. Л., Кот Н. А., Гайдукевич О. М. Интенсификация сушки сапропеля // Физико-химия торфа и сапропелей, проблемы их использования: Материалы 7 Междунар. науч.-техн. конф. Тверь, 1994. С. 86.
4. Инструкция по использованию сапропеля в сельскохозяйственном производстве: Научно-практическое издание / Н. Н. Бамбалов [и др.]. Мн., 2007.
5. Каўрыга П. А. Лабараторны практикум па метэаралогіі і кліматалогіі. Мінск, 1997.
6. Курзо Б. В. Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля. Минск, 2005.
7. Рубинштейн А. Я. Биогенные грунты. М., 1986.
8. СТБ 17.04.02-01-2010. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Сапропель. Промышленно-генетическая классификация. Минск, 2010.
9. Технический анализ торфа / Е. Т. Базин [и др.]. М., 1992.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 30.08.2011

О. М. Гайдукевич, Б. В. Курзо, И. В. Кляуззе, П. А. Зданович

ДИНАМИКА СУШКИ САПРОПЕЛЯ В РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНОМ РЕЖИМЕ

В результате экспериментов с карбонатным и кремнеземистым сапропелем месторождения «Прибыловичи» установлено, что удаление влаги в большей степени происходит за счет испарения с поверхности сапропеля. Наиболее эффективно испарение протекает на поверхности карбонатного сапропеля за счет процесса трещинообразования. Выявлен характер сушки сапропеля, который условно разделен на два этапа – наибольшей интенсивности и угасающей интенсивности сушки.

Сапропель на протяжении сушки в 3–5 раз уменьшается в объеме. Карбонатный сапропель сохнет в виде монолита и растрескивается. Кремнеземистый сапропель озера Прибыловичи в процессе сушки дробится на отдельные агрегаты размером до 4–8 мм. Увеличение толщины карбонатного сапропеля с 0,2 м до 0,4 м ведет к возрастанию продолжительности сушки до кондиционной влажности 60 % с 7 до 14 суток. Интенсивность сушки кремнеземистого сапропеля, имеющего повышенное содержание органического вещества, заметно ниже. Данный сапропель в слое 0,4 м достигает влажности 60% на 27 сутки. Перемешивание кремнеземистого сапропеля первые 9 суток не дает увеличения водоотдачи, так как сапропель имеет в этот период сушки достаточную поверхность испарения и его поры не закольматированы.

O. M. Gaidukevich, B. V. Kurzo, I. V. Klyauzze, P. A. Zdanovich

DYNAMICS OF SAPROPEL DRYING IN RADIATION-CONVECTIVE MODE

As a result of experiments with carbonate and silicon sapropel of «Pribylovichi» deposit it has been established that moisture removal in a greater degree occurs due to evaporation from sapropel surface. Most effectively evaporation process proceeds on a surface of carbonate sapropel at the expense of cracks-formation. The character of drying of sapropel which is conditionally divided into two stages – the greatest intensity and dying away speed of drying has been revealed.

The sapropel throughout the drying 3–5 times decreases its volume. The carbonate sapropel dries in the form of a monolith and fissures. The silica sapropel of lake Pribylovichi in the course of drying splist up for separate units in size of 4–8 mm. The increase in a thickness of carbonate sapropel from 0,2 m to 0,4 m results in the increase of duration of drying to conditional humidity of 60 % within 7 to 14 days. The intensity of drying of silicon sapropel of raised content of organic substance, is much lower. The stated sapropel in a layer 0,4 m reaches the humidity of 60 % in 27 days. Hashing of silica sapropel within the first 9 days doesn't give a water return increase, for sapropel has during this period of drying a sufficient surface of evaporation and its pores are nor stuffed.

УДК: 635.64:631.811:581.19

Н. Ф. Рассоха, Г. В. Наумова, Н. А. Жмакова

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ТОМАТОВ В ЗИМНИХ ТЕПЛИЦАХ НА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЕ

Представлены результаты испытаний отечественных регуляторов роста растительного происхождения Гидрогумата (ГГ) и Мальтамина (МТ) и импортного препарата Агата-25К при возделывании двух гибридов томата (Раиса F1 и Гаяна F1) в малообъемной культуре в зимних теплицах на минеральной вате. Выявлено положительное влияние регуляторов роста на фотосинтетические процессы вегетирующих растений, урожайность томатов и биохимический состав плодов.

В решении важной государственной задачи более полного и круглогодичного обеспечения населения страны овощными продуктами особая роль отводится ускоренному развитию овощеводства защищенного грунта. Как известно, достигнутый уровень производства овощей в сооружениях защищенного грунта все еще недостаточен для удовлетворения потребностей населения в этой незаменимой свежей продукции в соответствии с установленными физиологическими нормами.

В настоящее время в Республике Беларусь реконструировано и передано в сферу малообъемных технологий более 210 га зимних теплиц. Однако эффективность производства овощей в таких теплицах в значительной степени определяется выбором технологии их выращивания. В современной практике тепличного овощеводства как за рубежом, так и в Беларуси, довольно широко применяется способ производства овощей на синтетических субстратах, основным из которых служит минеральная вата.

Главным преимуществом данной технологии является повышение урожайности томата в 2,5–3,0 раза и снижение удельных затрат на его выращивание на 30–35 % [1–4].

Один из путей повышения эффективности овощеводства наряду с применением минеральных удобрений и химических средств защиты растений – использование других биологически активных препаратов, в том числе регуляторов роста растений [6, 7, 11].

Институтом овощеводства НАН Беларуси и другими институтами сельскохозяйственного профиля в предыдущие годы проведены значительные работы по оценке эффективности использования биологически активных препаратов, разработанных в Институте природопользования НАН Беларуси, получаемых на основе сырья растительного происхождения в качестве регуляторов роста при выращивании различных культур в открытом грунте [5, 9, 10], а также в защищенном грунте на естественных субстратах [8, 12, 13].

Однако исследования по оценке эффективности использования регуляторов роста при

проводении внекорневых обработок растений томатов, выращиваемых на минеральной вате в зимних теплицах, в Беларуси практически не проводились.

В этой связи изучение влияния таких препаратов на рост, развитие, урожайность и качество продукции в малообъемной культуре томата весьма актуально. Проведение данных исследований важно также с точки зрения изменения технологии выращивания, когда отсутствует возможность введения биологически активных препаратов в питательные растворы при капельном поливе.

Объектами исследования являлись отечественные регуляторы роста растений Гидрогумат, Мальтамин, а также зарубежный биологически активный препарат Агат-25К, которые ранее в условиях защищенного грунта для опрыскивания томатов не применялись.

Регулятор роста растений Гидрогумат – продукт гидролитической деструкции торфа. Как известно, торф является богатым источником различных биологически активных веществ, содержащихся в болотных растениях, а также гуминовых веществ, дополнительно образовавшихся на стадии его формирования в залежи.

Препарат Мальтамин получают из ростков солода – отхода пивоваренного производства – путем их двухстадийной химической обработки.

Ростки солода также богаты биологически активными соединениями с ростовыми свойствами, а в ходе дополнительной обработки их состав пополняется так называемыми меланоидинами, обладающими ростостимулирующим действием.

Химический состав Гидрогумата (10 % в.п.) и Мальтамина (6 % в.п.) представлен в табл. 1.

Как видно из приведенных данных, в органической массе препарата Гидрогумат содержит более 60 % гуминовых веществ, а в препарате Мальтамин преобладают меланоидины (около 69 %). Одновременно в составе этих препаратов присутствуют аминокислоты, карбоновые кислоты, пектины, фенольные соединения.

Таблица 1. Химический состав биологически активных препаратов Мальтамин и Гидрогумат

Компоненты	Содержание компонентов			
	Мальтамин		Гидрогумат	
	в препарате, %	от органических веществ, %	в препарате, %	от органических веществ, %
Органические вещества, в т. ч.	6,00	100,0	10,0	100,0
Гуминовые вещества	—	—	6,5	65,0
Меланоидины	4,13	68,75	1,3	13,0
Пектины	0,31	5,21	0,7	7,0
Органические кислоты	0,89	14,79	1,1	11,0
Аминокислоты	0,16	2,71	0,04	0,4
Фенольные соединения	0,15	2,50	0,2	2,0

Препарат российского производства Агат-25К разрешен к применению в условиях Беларуси в качестве регулятора роста на овощных культурах, в том числе и для полива растений томата в защищенном грунте.

Оценку эффективности использования данных препаратов проводили при выращивании гибридов томата Раиса и Гаяна в зимних теплицах в КСУП «Мозырская овощная фабрика» в 2005 г. Площади опытных и контрольных участков составляли по 5,2 м². Учет урожайности осуществляли раздельно по участкам. В течение вегетационного периода проводили трехкратное опрыскивание растений испытуемыми препаратами в концентрации 0,01 % в основные фазы их роста и развития (высадка рассады в грунт, начало бутонизации, цветение первой кисти). Контролем служили варианты без обработки растений препаратами. Повторность опытов четырехкратная. После основных сборов плодов томата проводили оценку их урожайности, а также исследовали биохимический состав конечной продукции, определяя содержание в ней сухих веществ, сахаров, витамина С и нитратов.

Наблюдения за вегетирующими растениями выявили заметные различия в формировании их листьев (табл. 2).

На основании полученных данных можно отметить, что морфологически опытные растения существенно отличались от контрольных. Количество листьев у растений томата Раиса F1 и Гаяна F1 в варианте с обработкой вегетативной массы отечественными препаратами значительно превышало контрольные показатели: на

13–24 % – на участках с применением Мальтамина и на 29–33 % – в опытах с Гидрогуматом.

Действие препарата Агат-25К также положительно сказалось на формировании листового аппарата растений различных гибридов томата, но менее значительно в сравнении с Гидрогуматом и Мальтамином. Так, среднее количество листьев в вариантах с использованием Агат-25К при возделывании этих гибридов незначительно отличалось друг от друга и колебалось в пределах 23,1–24,8 шт., превышая контроль на 12–13 %.

Установлено, что проведение внекорневых обработок растений томата с использованием биологически активных препаратов позволяет растениям сформировать листовой аппарат с большей площадью.

Сведения о площади листового аппарата растений в опытных вариантах и контроле приведены на рис. 1.

Как показывают данные рис. 1, все испытуемые препараты способствовали увеличению листовой поверхности растений томата, однако наибольший эффект наблюдался при применении Гидрогумата и Мальтамина. Так, площадь листьев на участках, обработанных Гидрогуматом, для томата Раиса F1 составила 0,78 м²/растение и 0,79 – для томата Гаяна F1, а на делянках с применением Мальтамина эти показатели составили соответственно 0,71 и 0,75 м²/растение. Применение препарата Агат-25К также приводило к формированию больших размеров фотосинтезирующего аппарата и составило 0,68 м²/растение для Раисы F1 и 0,71 м²/растение для Гаяны F1.

Таблица 2. Влияние внекорневых обработок биологически активными препаратами на количество листьев растений томата

Вариант	Раиса F1			Гаяна F1		
	Количество листьев до шпалеры (высота 210 см)			Количество листьев до шпалеры (высота 210 см)		
	шт.	± к контролю лист/растение	прирост, процент к контролю	шт.	± к контролю лист/растение	прирост, процент к контролю
Без обработки (контроль)	20,4	–	–	22,1	–	–
Мальтамин	26,1	5,7	13,2	27,4	5,3	24,0
Гидрогумат	27,2	6,8	33,3	28,6	6,5	29,4
Агат-25К	23,1	2,7	13,2	24,8	2,7	12,2

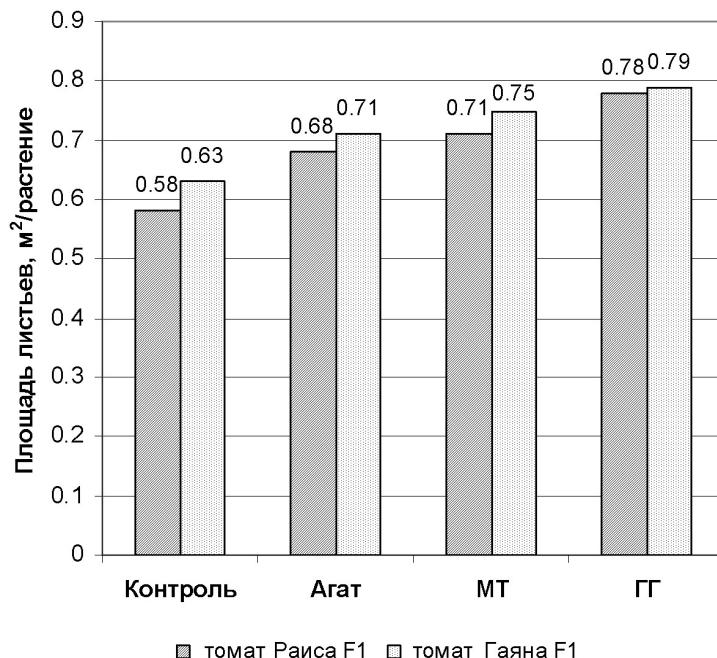


Рис. 1. Влияние внекорневых обработок регуляторами роста растений томата на площадь листьев

Как и следовало ожидать, доступное потребление комплекса минеральных элементов из подаваемых питательных растворов с помощью капельного полива в сочетании с опрыскиванием вегетирующих растений биологически активными препаратами, способствующими усилению процессов фотосинтеза, явились основой для формирования гарантированно высокой урожайности плодов различных гибридов томата.

Сведения о влиянии изучаемой технологии, включающей применение регуляторов роста

растений при выращивании томатов в защищенном грунте на искусственном субстрате, на продуктивность культуры и формирование урожайности приведены в табл. 3.

Выявлено, что наибольшая урожайность плодов томата Гаяна F1 $45,2 \text{ кг}/\text{м}^2$ – получена при применении регулятора роста Гидрогумат при трехкратном опрыскивании растений в указанные фазы их роста и развития. Урожайность плодов томата Раиса F1 находилась на $2,1 \text{ кг}/\text{м}^2$ ниже по сравнению с урожайностью Гаяна F1.

Таблица 3. Влияние внекорневых подкормок биологически активными препаратами на урожайность гибридов томата

Вариант	Раиса F1			Гаяна F1		
	Урожайность, $\text{кг}/\text{м}^2$	Прибавка		Урожайность, $\text{кг}/\text{м}^2$	Прибавка	
		$\text{кг}/\text{м}^2$	%		$\text{кг}/\text{м}^2$	%
Без обработки (контроль)	39,8	–	–	40,7	–	–
Мальтамин	42,4	2,6	7	43,7	3,0	7
Гидрогумат	43,1	3,3	8	45,2	4,5	11
Агат-25К	41,4	1,6	4	42,8	2,1	5
HCP ₀₅	0,09			0,08		

Если урожайность томатов при использовании Гидрогумата возросла соответственно на 8 и 11 %, то использование препарата Агат-25К способствовало повышению урожайности плодов томата Раиса F1 и Гаяна F1 на $1,6$ и $2,1 \text{ кг}/\text{м}^2$, или на 4 и 5 % соответственно.

Биохимические исследования собранных овощей показали, что использование биологически активных препаратов при проведении вне-

корневых обработок томата в малообъемной технологии позволяет получать продукцию с улучшенными качественными показателями. Так, согласно данным табл. 4, при использовании Гидрогумата содержание сухих веществ в плодах томата возрастает на 0,5 % и сахаров – на 0,5 mg% по сравнению с их содержанием в плодах томата без обработки.

Отмечено также наибольшее содержание витамина С – 23,01 и 23,02 мг% соответственно в плодах томата Раиса F1 и Гаяна F1 при обработке растений препаратом Гидрогумат.

Характерно, что содержание нитратов в плодах в период плодоношения на опытных уча-

стках с Гидрогуматом находилось на уровне 15,5 мг/кг сырой массы для томата Раиса F1 и 14,7 мг/кг для Гаяна F1, что значительно ниже ПДК (предельно допустимых концентраций).

Таблица 4. Влияние внекорневых обработок биологически активными препаратами на биохимический состав плодов томата

Вариант	Раиса F1				Гаяна F1			
	Сухие вещества, процент	Сумма сахаров, мг%	Витамин С, мг%	Нитраты, мг/кг сырой массы	Сухие вещества, процент	Сумма сахаров, мг%	Витамин С, мг%	Нитраты, мг/кг сырой массы
Без обработки (контроль)	5,4	6,7	22,11	16,2	5,3	6,4	21,4	15,4
Мальтамин	5,7	6,9	22,39	16,2	5,6	6,8	22,04	15,0
Гидрогумат	5,9	7,2	23,01	15,5	5,8	6,9	23,02	14,7
Агат-25K	5,6	6,8	22,51	16,1	5,6	6,6	22,71	15,7

В результате проведенных исследований показано, что культура томатов (Раиса F1 и Гаяна F1), выращиваемых на минеральной вате в зимних теплицах, отзывчива на применение регуляторов роста растений в малых дозах при их внекорневой обработке в основные фазы роста и развития.

Установлено, что более отзывчивым на проведение опрыскивания растений биологически активными препаратами ростостимулирующего действия оказался томат Гаяна F1.

Сравнительная оценка эффективности применения изучаемых регуляторов роста вы-

явила преимущества Гидрогумата, способствующего максимальному повышению количества листьев в растениях, а также их площади, что положительно сказывается на урожайности, которая возрастает на 8–11 %. Одновременно улучшается качество плодов за счет повышения содержания сухих веществ, витамина С и снижения нитратов в овощной продукции.

Таким образом, регуляторы роста растений, получаемые на основе природного сырья, можно эффективно использовать при выращивании томатов в малообъемной технологии на минеральной вате.

Литература

1. Аутко А. А. В мире овощей. Минск, 2004.
2. Аутко А. А., Долбик Н. Н., Козловская Н. Н. Тепличное овощеводство. Минск, 2003.
3. Боронин А. М., Кочетков А. М., Боронин В. В. Биологические препараты на основе псевдомонад // АгроХХI. 2000. № 3. С. 3–5.
4. Веремейчик Л. А. Основы питания томатов, выращиваемых в малообъемной культуре. Минск, 2002.
5. Забара Ю. М., Соболев А. Ю., Наумова Г. В., Овчинникова Т. Ф. Эффективность применения регулятора роста Гидрогумат при выращивании маточников родительских линий капусты белокочанной // Земляробства і ахова раслін. 2010. № 2. С. 31–35..
6. Йода Е. В. Повышение эффективности производства огурца в сооружениях защищенного грунта // Совершенствование экономического механизма агропромышленного комплекса: Краткие тез. докл. на областной науч. конф. Мичуринск, 1990. С. 21–24.
7. Можарова И. П. Перспективы использования регуляторов роста растений // Плодородие. 2006. № 6. С. 13–14.
8. Наумова Г. В., Макарова Н. Л., Хрипович А. А., Кляуззе И. В., Жмакова Н. А., Овчинникова Т. Ф. Эффективность регуляторов роста растительного происхождения при выращивании томатов в закрытом грунте // Природопользование. Минск, 2003. Вып. 9. С. 164–167.
9. Пироговская Г. В., Богдевич И. М., Сорока В. И., Силкова А. С., Наумова Г. В., Овчинникова Т. Ф., Макарова Н. Л., Хрипач В. А. Об эффективности применения регуляторов роста растений при возделывании многолетних трав // Природопользование. Минск, 2003. Вып. 9. С. 168–171.
10. Степуро М. Ф., Томсон А. Э., Наумова Г. В., Макарова Н. Л., Жмакова Н. А., Овчинникова Т. Ф. Влияние биологически активных препаратов на урожайность и биохимический состав овощей // Овощеводство: Сб. науч. тр. Ин-та овощеводства НАН Беларуси. Минск, 2010. Вып. 18. С. 187–191.

11. Феклистова И. Н. Стимуляция роста овощных культур биопрепаратом Стимул в системе JN Planta // Овощеводство: Сб. науч. тр. Ин-та овощеводства НАН Беларуси. Минск, 2010. Вып. 18. С. 198–203.

12. Naumova G. V., Autko A. A., Tomson A. E., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F., Zhmakova N. A. New hothouse peat grounds with vegetative additives and their tests in winter hothouses // Physical, Chemical and Biological Processes in Soils. Poznan, 2010. P. 395–402.

13. Tomson A. E., Naumova G. V., Zhmakova N. A., Ovchinnikova T. F., Makarova N. L. Biologically active preparations on peat basis as effective plants growth regulators // Physical, Chemical and Biological Processes in Soils. Poznan, 2010. P. 515–524.

**КСУП «Мозырьская овощная фабрика»,
Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 5.09.2011

Н. Ф. Рассоха, Г. В. Наумова, Н. А. Жмакова

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ТОМАТОВ В ЗИМНИХ ТЕПЛИЦАХ НА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЕ

Представлены результаты опытов по изучению воздействия регуляторов роста растений (Гидрогумат, Мальтамин и Агат–25К) на фенологические показатели, урожайность томатов и биохимический состав плодов при их выращивании на минеральном субстрате в зимних теплицах.

Цель настоящей работы – оценить эффективность применения регуляторов роста различной химической природы при внекорневой обработке растений томатов, выращиваемых на минеральной вате с капельным поливом.

Испытания проведены на Мозырской овощной фабрике в зимних теплицах на опытных участках с 4-кратной повторностью, где в качестве грунта используется минеральная вата, широко применяемая в настоящее время как за рубежом, так и в Республике Беларусь, имеющая преимущества с точки зрения экономики в сравнении с другими субстратами.

Установлено, что испытываемые биологически активные препараты положительно воздействуют на ростовые процессы растений томатов, о чем свидетельствует большая площадь листьев и их количество в опытных вариантах, а в итоге способствуют повышению урожайности томатов.

Наиболее высокие показатели урожайности (11 %) отмечены при применении препарата Гидрогумат, что вдвое превышает прибавку урожая (5 %) на участках с использованием импортного препарата Агат–25К.

Под воздействием Гидрогумата и Мальтамина значительно улучшается качество овощной продукции.

N. F. Rassokha, G. V. Naumova, N. A. Zhmakova

ON THE EFFICIENCY OF GROWTH REGULATORS APPLICATION TO CULTIVATE TOMATOES ON MINERAL SUBSTRATUM IN WINTER HOT HOUSES

Test results of studying the plants growth regulators influence (Hydrohumat, Maltamin and Agat–25K) on phonologic indicators, productivity of tomatoes and biochemical structure of fruits when they are cultivated on a mineral substratum in winter hothouses have been presented.

The aim of the present work is to estimate efficiency of growth regulators application of various chemical nature for out of root treatment of tomato plants which are grown up on mineral cotton wool with drop irrigation.

Tests were done at Mozysky vegetable factory in winter hothouses on test sites with 4-fold frequency where a mineral cotton wool was used which is widely applied now both abroad and in Belarus, having advantages from the point of view of economy in comparison with other substrata.

It has been found that the tested biologically active preparations positively influence on growth processes of tomato plants what is testified by big area of leaves and their amount in test versions, and as a result promote tomatoes productivity increase.

The highest indicators of yield productivity (11 %) are noticed when preparation Hydrohumat has been applied, that twice exceeds a crop increase (5 %) on the sites with the use of import preparation Agat–25K.

Under the influence of Hydrohumat and Maltamin the quality of vegetable produce considerably improves.

И. П. Козловская

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ТОМАТА В ЗИМНИХ ТЕПЛИЦАХ

На основе данных о непродуктивном расходе элементов питания предлагаются способы снижения экологической нагрузки в тепличном овощеводстве.

Современные тепличные комбинаты являются крупными потребителями природных ресурсов и могут продуктивно работать только при условии внедрения эффективных, экологически обоснованных производственных технологий.

Стабильное функционирование тепличных комбинатов возможно при сохранении внутреннего единства, обусловленного тесными взаимосвязями между составляющими компонентами. В таком ценозе все энергетические и производственные затраты должны быть подчинены единой цели – достижению максимальной продуктивности культивируемых растений, а следовательно, получению максимальной прибыли при минимальном загрязнении окружающей среды.

Если природные экосистемы способны сохранять целостность и относительную устойчивость без энергетических субсидий, агроценозы – лишь частично обеспечивают свою устойчивость, в основном за счет экологической функции почвы [7], то такая способность тепличных агроэкосистем полностью зависит от режимов, созданных человеком [7].

В настоящее время в Республике Беларусь функционирует 227,95 га зимних теплиц (рис. 1), на подавляющем большинстве площадей которых использованы современные малообъемные технологии производства с применением микропроцессорной техники и системы фитомониторинга.

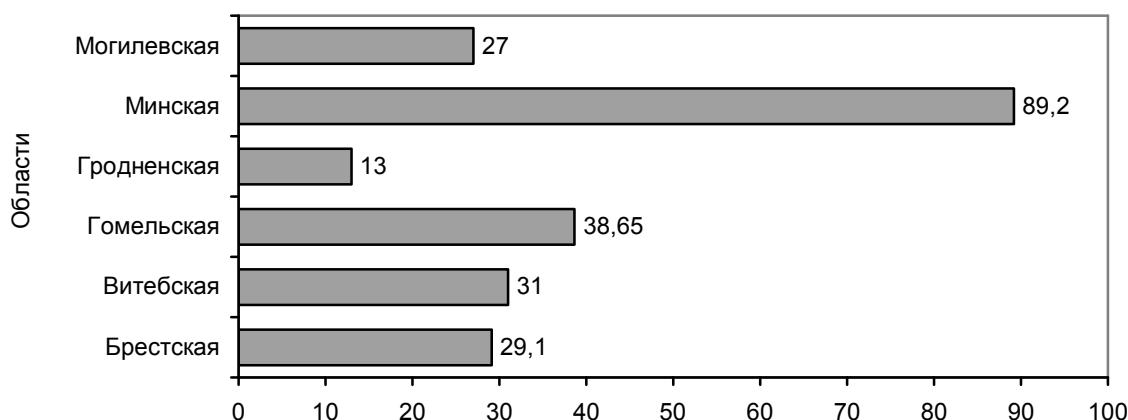


Рис. 1. Площади зимних теплиц в Республике Беларусь (по состоянию на 1 января 2011 г), га

Масштабное внедрение малообъемных технологий позволило повысить эффективность производства и стабилизировать экономические показатели отрасли [1–3]. Так, рентабельность тепличного овощеводства в 2004 г. составляла 21,6 %; 2006 г. – 21,9; в 2008 г. – 20,2; в 2010 г. – 16,6 %.

Современное тепличное овощеводство как самая интенсивная отрасль растениеводства является крупным потребителем природных ресурсов и может успешно функционировать при условии выработки и внедрения не только

рентабельных, но и экологически обоснованных технологических моделей производственных процессов.

При совершенствовании используемых в этой отрасли технологий принципиально важно придать им экологическую направленность в соответствии с особенностями развития научно-технического прогресса, специализации и концентрации производства, оптимизировать соотношение объемов полученной сельскохозяйственной продукции с объемом использо-

ванных природных ресурсов и степенью воздействия на окружающую среду.

Тепличные культуры весьма требовательны к условиям произрастания, так как в культивационных сооружениях растения развиваются очень интенсивно, с урожаем выносят большое количество питательных веществ, по сравнению с культурами открытого грунта имеют довольно длительный период вегетации, непропорционально развитую корневую и надземную части: относительно слаборазвитая корневая система тепличных растений должна обеспечить полноценное развитие мощной надземной части.

В условиях защищенного грунта, где основные микроклиматические параметры регулируются, на передний план выступают проблемы создания корнеобитаемой среды, отвечающей требованиям произрастания растений и позволяющей регулировать их минеральное питание. В корнеобитаемой среде должны постоянно поддерживаться оптимальные условия для роста корней, т. е. поступление к ним воздуха и воды. Формирование тепличных агроценозов осуществляется на основе одной культуры и предусматривает загущенные посадки, что требует создания особых условий питания растений [5].

Наиболее полная реализация потенциальных биологических возможностей растений в условиях защищенного грунта достигается оптимизацией минерального питания за счет использования полностью растворимых минеральных удобрений, растворы которых подаются в корнеобитаемую среду через систему капельного полива.

Система капельного полива позволяет корректировать состав питательного раствора, частоту поливов и количество питательного раствора в соответствии с особенностями микроклимата теплицы и требованиями растений к условиям минерального питания в различные фазы роста и развития. Такое управление ростом и развитием овощных растений в зимних теплицах является одним из важнейших звеньев фитомониторинга.

Для приготовления питательных растворов используются полностью растворимые минеральные удобрения, которые закупаются за рубежом. Каждый тепличный комбинат является крупным потребителем таких удобрений. При этом их использование создает экологическую нагрузку за счет формирования дренажных стоков, содержащих в значительных количествах растворимые соли.

Таким образом, изыскание путей экономии импортных минеральных удобрений в тепличном овощеводстве является одним из основных путей повышения экономической эффективности и экологической безопасности производства [2, 5].

Подбор субстратов должен осуществляться с учетом их стоимости, качества, особенностей поглощения и миграции питательного раствора. Кроме того, субстрат не должен выделять токсических веществ, не оказывать влияния на реакцию питательного раствора и быть свободным от инфекционного начала.

Расход минеральных удобрений и формирование дренажного стока при малообъемном выращивании тепличных овощей существенно влияют на интенсивность загрязнения окружающей среды и во многом определяются происхождением и свойствами субстрата [6].

Доминирующей теперь в тепличном овощеводстве является технология возделывания овощных культур на минеральной вате. В нашей стране этот субстрат не производится, его закупки, поставки и таможенные платежи требуют значительных валютных затрат.

По данной технологии на 1 м² площади теплицы размещается 15 дм³ ваты, в которую с помощью системы капельного полива подаются в растворенном виде минеральные удобрения. Минеральная вата инертна, не содержит питательных веществ, для овощеводства производится из расплавленной базальтовой скальной породы с добавками и только на 5 % состоит из твердой субстанции (волокон), а на 95 % – из пор разной величины. После увлажнения питательным раствором матов из минеральной ваты им заполняется 60–70 % объема пор, а 30–40 % – воздухом. Маты емкостью 10 дм³держивают после насыщения примерно 7 л воды. В нижней части мата находится больше питательного раствора, а в верхней – воздуха. Поэтому корни растений развиваются неравномерно по всему объему матов, и при снижении влажности корневая система повреждается, а рост задерживается вплоть до образования новых корней. Кроме того, повреждения корневой системы могут возникнуть при «заливании» матов.

Использование минеральной ваты предусматривает плановый дренаж 30 % и более, и при отсутствии системы рециркуляции и обеззараживания дренажного раствора непродуктивный расход минеральных удобрений и миграция водорастворимых солей по профилю дренажа оказываются весьма существенными, что ведет к росту затрат на производство за счет значительного расхода минеральных удобрений и создает большую экологическую нагрузку.

Непродуктивный расход основных элементов минерального питания при выращивании томата в продленной культуре на минеральной вате составляет более 18 г на каждый килограмм произведенной продукции (табл. 1).

Таким образом, при использовании минеральной ваты в качестве субстрата для выращивания томата в зимних теплицах растворимые соли с дренажными водами в значительных количествах поступают в окружающую среду и за счет высокой миграционной способности проникают вглубь,

вплоть до грунтовых вод. Причем в структуре непродуктивного расхода элементов минерального питания преобладают азот и калий, а именно эти элементы при функционировании агроценозов формируют основную внешнюю биогенную нагрузку [7].

Таблица 1. Непродуктивный расход (г/кг продукции) основных элементов питания на минеральной вате (томат в продленной культуре)

№	Элемент питания, г/кг	Непродуктивный расход
1	N	4,54
2	P	1,98
3	K	7,24
4	Ca	4,31
5	Mg	0,49
	Всего	18,56

Минеральная вата является «холодным» субстратом. Для поддержания оптимальной температуры корнеобитаемой среды необходимы дополнительные энергетические затраты на обогрев матов минеральной ваты.

Если принять во внимание, что минеральная вата используется один, максимум два вегетационных периода, а технология утилизации этого отхода требует энергетических затрат практически таких же, как и на производство, то накопление отработанного субстрата на полигонах вблизи городов создает серьезную экологическую проблему и требует дополнительных средств на оборудование специальных ковшообразных бетонированных площадок для его хранения. Срок хранения отработанной минеральной ваты неограничен.

Альтернативой технологии выращивания овощных культур с использованием в качестве субстрата минеральной ваты является бессубстратная технология, внедренная в КУСП «Берестье» [2].

Технология базируется на формировании корнеобитаемой среды без применения твердых компонентов. Поверхность почвы в теплице изолируется пленкой, поверх которой в соответствии со схемой расположения рядов растений размещают полистирольные блоки с сечением в виде трапеции. Такой блок служит основой для укладки светонепроницаемого пластикового рукава и за счет низкой теплопроводности обеспечивает стабилизацию температурного режима корнеобитаемой среды. Поверх блока расстиляется герметичный пластиковый рукав из светонепроницаемой пленки. В соответствии со схемой размещения растений в нем делают крестообразные надрезы и при отгибе углов пленки образуются отверстия, предназначенные для размещения растений.

Выращивание рассады осуществляется в кубиках минеральной ваты. После достижения стандартных параметров рассады кубик, пронизанный корнями растений, устанавливается

в отверстие в пластиковом рукаве и закрепляется на полистирольном блоке. Питательный раствор через систему капельного полива регулярно подается в рукав.

По мере роста и развития растений корни проникают в герметичный светонепроницаемый пластиковый рукав. Таким образом, формируется искусственная корнеобитаемая среда с доступом воздуха, не содержащая твердых компонентов, изолированная от света. Дренажный сток при использовании такой технологии практически отсутствует, а следовательно, исключается загрязнение окружающей среды растворимыми солями.

За счет отсутствия потерь элементов питания с дренажными стоками достигается значительная экономия водорастворимых импортных минеральных удобрений (рис. 2).

Так, при средней урожайности томата 35 кг/м² использование бессубстратной технологии выращивания позволяет в сравнении с минеральной ватой уменьшить расход водорастворимых удобрений на 6 496 кг/га; при урожайности 40 кг/м² – на 7 424 кг/га.

Таким образом, отсутствие производственных отходов в виде отработанного субстрата, экономия водорастворимых удобрений и отсутствие выноса солей с дренажными стоками являются очевидными преимуществами бессубстратной технологии возделывания овощных культур в зимних теплицах.

Одним из путей снижения экологической нагрузки, которую формируют тепличные комбинаты, является использование органических корнеобитаемых сред. Основой органического субстрата должен быть верховой торф с низкой степенью разложения. Это тонкопористый, влагоемкий природный материал с хорошей поглощающей способностью. В органическом субстрате на основе торфа формируются благоприятные условия для роста корневой системы растений и развития полезных микроорганизмов.

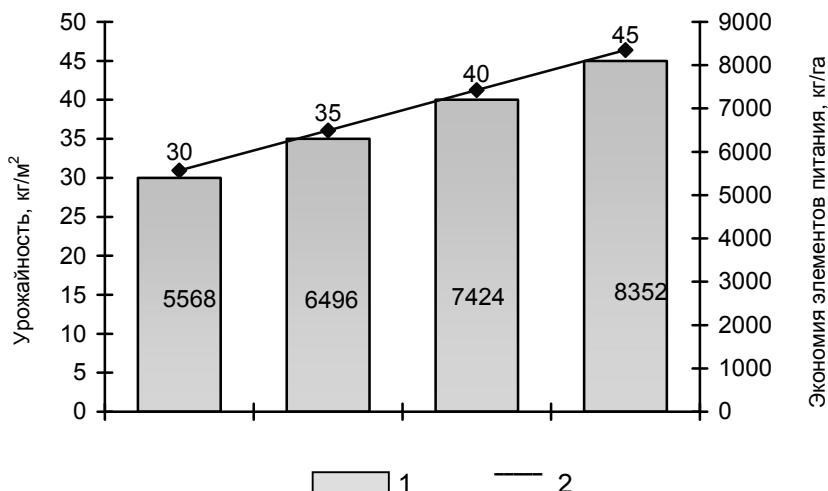


Рис. 2. Экономия элементов минерального питания при использовании

бессубстратной технологии выращивания томата:

- 1 – экономия элементов минерального питания, кг/га;
2 – плановая урожайность томата в продленной культуре, кг/м²

Республика Беларусь располагает значительными запасами торфа, пригодного для использования в тепличном овощеводстве.

Органические субстраты на основе торфа обладают способностью поглощать, удерживать и порционно отдавать растениям элементы минерального питания. Поэтому часть удобрений может быть внесена в сухом виде при приготовлении субстрата. Высокая поглотительная способность торфяных субстратов обеспечивает возможность фиксации питательных элементов и полноценного питания растений за счет их использования в начале вегетации без дополнительного поступления питательных элементов в виде раствора.

Нашиими исследованиями установлено, что такая комбинированная система минерального

питания позволяет в течение целого месяца вегетации томата в продленной культуре через систему капельного полива подавать не раствор минеральных удобрений, а чистую воду. Данный технологический прием обеспечивает 10–12-процентную экономию импортных водорастворимых минеральных удобрений [4].

За счет поглотительной способности торфяного субстрата существенно снижается вынос питательных элементов с дренажными стоками и в последующие месяцы вегетации растений, что позволяет значительно уменьшить непродуктивный расход элементов питания (табл. 2), а следовательно, и поступление растворимых солей в дренаж.

Таблица 2. Непродуктивный расход (г/кг продукции) основных элементов минерального питания на торфяном субстрате (томат в продленной культуре)

№	Элемент питания, г/кг	Торфяной субстрат
1	N	4,33
2	P	1,71
3	K	5,98
4	Ca	1,86
5	Mg	0,56
	Всего	14,44

Так, при средней урожайности томата 35 кг/м² использование органических субстратов позволяет в сравнении с минеральной ватой уменьшить поступление в дренажные стоки элементов минерального питания на 1 442 кг с

каждого гектара теплиц, при урожайности 40 кг/м² – на 1640 кг/га (рис. 3).

Таким образом, при возделывании томата в зимних теплицах по производственным технологиям, исключающим использование

минеральной ваты, – бессубстратной и на органических субстратах, – не формируются производственные отходы в виде неутилизируемого

субстрата, достигаются значительная экономия водорастворимых импортных удобрений, уменьшение выноса солей с дренажными стоками.

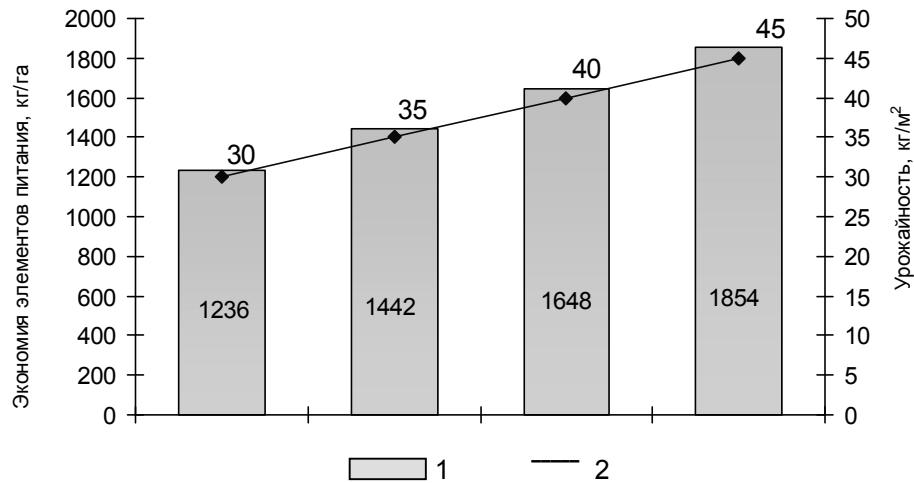


Рис. 3. Экономия элементов минерального питания при использовании торфяного субстрата:
1 – экономия элементов минерального питания, кг/га;
2 – плановая урожайность томата в продленной культуре, кг/м²

Литература

1. Аутко А. А., Гануш Г. И., Кабков А. Г. Инновационное обеспечение развития и эффективного функционирования тепличного хозяйства Беларуси // Земляробства і ахова раслін. 2007. № 4. С. 6–9.
2. Аутко А. А., Долбик Н. Н., Гануш Г. И. Повышение эффективности тепличного овощеводства в КУСП «Тепличный комбинат "Берестье"» // Белорусское сельское хозяйство. 2007. № 5. С. 16–19.
3. Козловская И. П. Выбор производственных технологий как способ повышения эффективности тепличного овощеводства // Агропанорама. 2010. № 1. С. 9–11.
4. Козловская И. П. Комбинированная система минерального питания томата на органических субстратах // Достиж. науки и техники АПК. 2004. № 3. С. 19–21.
5. Козловская И. П. Питание томата в зимних теплицах. Минск, 2003.
6. Козловская И. П. Пути повышения экономической эффективности и экологической безопасности тепличного овощеводства. Минск, 2009.
7. Черников В. А., Алексахин Р. М., Голубев А. В. и др. Агрэкология. М., 2000.

**Белорусский государственный
аграрный технический университет**

Поступила в редакцию 15.09.2011

И. П. Козловская

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ТОМАТА В ЗИМНИХ ТЕПЛИЦАХ

Значимой составляющей экологической нагрузки, которую формирует современное тепличное овощеводство, является засоление почв и грунтовых вод дренажными стоками тепличных комбинатов. Поскольку загрязняющими компонентами этих стоков являются, главным образом, неиспользованные элементы минерального питания тепличных растений, особое значение приобретает выбор таких производственных технологий, которые снижают потери питательных веществ с дренажем, тем самым обеспечивая экономию водорастворимых импортных минеральных удобрений. Непродуктивный расход элементов минерального питания при выращивании томата в продленной культуре может быть сведен до минимума при использовании бессубстратной

технологии, а также уменьшен с 18 до 14 г/кг произведенной продукции при использовании в качестве корнеобитаемой среды органических субстратов на основе торфа взамен минеральной ваты. Внедрение бессубстратной технологии и технологии выращивания тепличных растений на органических субстратах обеспечивает экономию ресурсов и исключает формирование производственных отходов, требующих дополнительных затрат на их хранение и утилизацию.

I. P. Kozlovskaya

**INFLUENCE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGIES ON ECOLOGICAL LOAD FORMATION
AT TOMATO CULTIVATION IN WINTER HOTHOUSES**

A significant component of ecological load which forms modern hothouse vegetable growing is salt excess in soils and subsoil waters drainage by drains of hothouse combines. Since polluting components of these drains, mainly, are unused elements of mineral food of hothouse plants, special value gets a choice of such industrial technologies which reduce losses of nutrients with drainage, thereby providing economy of water-soluble import mineral fertilizers. The unproductive expense of elements of a mineral nutrition at tomato cultivation in the prolonged culture can be reduced till minimum when non-substrate technologies are applied, and also is reduced from 18 to 14 g/kg of made produce at the use as root-habitant medium of organic substrata on the basis of peat instead of mineral cotton wool. Introduction of substrate-free technology and that of cultivation of hothouse plants on organic substrata provides economy of resources and excludes formation of the industrial waste demanding additional expenses for their storage and recycling.

М. Ф. Степуро, А. А. Аутко

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА АГРОПРИЕМОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СТОЛОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ ПО БИОПРОДУКТИВНЫМ И КАЧЕСТВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Представлены результаты оценки ответной реакции столовых корнеплодов по видам и дозам удобрений на фонах последействия сидерата и сидерата в сочетании с навозом. Показаны относительные различия по урожайности и качеству продукции в многолетнем цикле наблюдений в зависимости от системы питания. Рассматривается зависимость активизации накопления в корнеплодах моркови – β-каротина на 2–8 % и растворимых сахаров на 3–9 %, на фоне преимущественного обеднения продукции свеклы и моркови сухими веществами на 3–8 %, а также увеличения содержания нитратов на 57–116 % в продукции свеклы столовой, при снижении данного показателя на 6–32 % в корнеплодах моркови.

Столовые корнеплоды в структуре посевных площадей овощных культур занимают около 15 %. В Беларуси планируется в ближайшие годы выращивание столовых корнеплодов полностью перевести на узкопрофильные гряды. По данной технологии в республике более чем на 80 % площади возделывается морковь и свекла столовая [3, 5, 6].

При использовании этой технологии улучшаются водно-физические свойства почвы, повышается ее уровень питания, за счет искусственного увеличения на 6–8 см мощности гумусированного слоя при перераспределении почвогрунта из междурядий по сравнению с выровненной поверхностью. Большим достоинством данной технологии является возможность полной механизации всего технологического цикла – от формирования гряд и междурядных обработок до внесения пестицидов и минеральных удобрений во время вегетационного периода овощных культур. Однако ранее и в настоящее время главным критерием интенсивной технологии было и остается получение высокой урожайности. Отсюда и чрезмерное увлечение высокими дозами внесения минеральных туков, пестицидов, повышенными нормами внесения птичьего помета и дорогих органических удобрений, что зачастую приводит к резкому ухудшению качества продукции, снижению ее питательной и диетической ценности.

По мнению Ж. А. Рупасовой [3] и В. А. Борисова [1], в настоящее время теория питания овощных культур с учетом требований к биологическому качеству продукции, содержанию в ней нитратов и других вредных веществ разработана недостаточно. Поэтому всесторонняя оценка эффективности системы применения удобрений, включающей простые и комплексные минеральные удобрения, последействие навоза и сидерата, в зависимости от индивидуальных особенностей ответной реакции овощных культур на пока-

затели химического состава и качества продукции, является весьма актуальной.

Исследования проводили в РУП «Институт овощеводства» в 2006–2010 гг. Объектом исследований служили введенные в госреестр сорта отечественной селекции свеклы столовой – Прыгажуня, моркови – Лявиониха. Минеральные удобрения – карбамид (мочевина), суперфосфат простой аммонизированный, хлористый калий и комплексные минеральные удобрения, разработанные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии», марки НРК 13:12:19 (ТУ РБ 40006905.022-2003), – при всех расчетных дозах вносили согласно схемам опытов. Для определения анализа ответной реакции овощных культур на удобрения была использована методика Ж. А. Рупасовой [7]. Наблюдения и учеты проведены согласно «Методике полевого опыта» (Б. А. Доспехов, 1985) и «Методике полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве» (под ред. В. Ф. Белика и Л. Г. Бондаренко, 1979).

В результате исследований выявлено, что наиболее существенное увеличение по дозам удобрений по сравнению с контролем урожайности у моркови и свеклы столовой варьировалось в рамках эксперимента в диапазонах значений 6–46 % и 4–47 % соответственно, что свидетельствовало о большей отзывчивости данных культур на повышение уровня минерального питания. При этом последействие навоза на фоне сидерата (Фон Б) заметно усиливало позитивное действие комплексных минеральных удобрений на продукционные параметры данных овощных культур.

Представляется вполне естественным по сравнению с контролем повышение на удобренном агрофоне концентрации основных элементов питания в продукции свеклы столовой и моркови. Так, наиболее значительным увеличением содержания азота, особенно при внесении простых минеральных удобрений, была отмечена продукция свеклы столовой (на 4–24 %). При этом внесение комплексных минеральных удобрений, не-

зависимо от их дозы, на фоне последействия сидерата в сочетании с навозом (Фон Б) способствовало существенному снижению содержания в ней данного элемента и уменьшению относительных различий с контролем до 4–8 % против 17–22 % на фоне одного сидерата (Фон А), табл. 1, 3. В продукции корнеплодов моркови различия с контролем в содержании азота на удобренном агрофоне оказались весьма незна-

чительными, не превышавшими в основном 2–3 % (табл. 2, 4). В данном случае в корнеплодах моркови на фоне Б, но уже во всех вариантах опыта с внесением комплексных удобрений, также было отмечено увеличение, хотя и незначительное (в пределах 2 %). Это согласуется с показанной выше аналогичной тенденцией и в корнеплодах свеклы столовой.

Таблица 1. Усредненные в многолетнем цикле наблюдений (2006–2010 гг.) показатели урожайности и качества продукции свеклы столовой в вариантах опыта с внесением простых и комплексных минеральных удобрений на фоне последействия сидерата и органических удобрений (на сырую массу)

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Товарность, %	На сухое вещество, %			Сухие вещества, %	Сумма растворимых сахаров, %	Нитраты, мг/кг
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Сидерат, 38 т/га – фон А (контр.)	37,1	73	1,78	0,82	2,16	19,0	12,9	271
1. Фон А+ N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ *	48,3	72	2,21	0,86	2,44	18,0	12,6	432
2. Фон А+ N ₈₀ P ₇₄ K ₁₁₈	45,9	74	2,09	0,84	2,19	18,1	13,1	478
3. Фон А+ N ₉₀ P ₈₃ K ₁₃₂	49,4	73	2,14	0,86	2,21	18,2	13,2	586
4. Фон А+ N ₁₀₀ P ₉₂ K ₁₄₇	51,6	71	2,17	0,87	2,24	18,8	13,5	426
5. Сидерат, 38 т/га+ навоз 60 т/га – Фон Б	38,5	69	2,06	0,83	2,14	18,8	13,4	352
6. Фон Б+ N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ *	50,6	74	2,16	0,99	2,34	18,3	12,2	521
7. Фон Б+ N ₈₀ P ₇₄ K ₁₁₈	48,4	73	1,86	0,81	2,18	17,5	12,2	520
8. Фон Б+ N ₉₀ P ₈₃ K ₁₃₂	51,5	74	1,92	0,84	2,21	18,1	12,8	548
9. Фон Б+ N ₁₀₀ P ₉₂ K ₁₄₇	54,7	76	1,88	0,86	2,31	18,4	12,8	484
HCP ₀₅	1,8							

* Простые минеральные удобрения.

Таблица 2. Усредненные в многолетнем цикле наблюдений (2006–2010 гг.) показатели урожайности и качества корнеплодов моркови в вариантах опыта с внесением простых и комплексных минеральных удобрений на фоне последействия сидерата и органических удобрений (на сырую массу)

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Товарность, %	На сухое вещество, %			Сухие вещества, %	Сумма растворимых сахаров, %	β-каротин, мг %	Нитраты, мг/кг
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
Сидерат, 38 т/га – фон А (контр.)	35,9	76	2,17	0,69	2,91	12,0	7,5	13,1	284
1. Фон А+ N ₉₀ P ₁₀₅ K ₁₂₀ *	49,7	77	2,24	0,72	3,39	11,6	7,9	13,3	268
2. Фон А+ N ₆₀ P ₅₅ K ₈₈	45,7	78	2,12	0,68	3,09	11,7	8,1	13,5	228
3. Фон А+ N ₆₇ P ₆₂ K ₉₈	49,0	76	2,17	0,71	3,17	11,8	8,2	13,0	241
4. Фон А+ N ₇₄ P ₆₉ K ₁₀₈	51,5	78	2,21	0,70	3,27	11,4	7,6	13,7	257
5. Сидерат, 38 т/га+ навоз 60 т/га – Фон Б	37,9	74	2,14	0,71	3,12	12,0	8,0	13,9	295
6. Фон Б+ N ₉₀ P ₁₀₅ K ₁₂₀ *	50,9	75	2,21	0,81	3,53	11,8	7,9	14,1	227
7. Фон Б+ N ₆₀ P ₅₅ K ₈₈	47,3	76	2,07	0,72	3,04	11,8	8,0	13,8	202
8. Фон Б+ N ₆₇ P ₆₂ K ₉₈	49,7	78	2,14	0,73	3,18	12,0	7,7	13,2	198
9. Фон Б+ N ₇₄ P ₆₉ K ₁₀₈	52,4	78	2,13	0,79	3,23	11,6	7,9	14,0	193
HCP ₀₅	1,9								

* Простые минеральные удобрения.

Относительные размеры увеличения содержания фосфора в продукции этих культур на удобренном агрофоне, по сравнению с контролем, были весьма схожи и в основном не превышали 3–5 %, однако на фоне Б в варианте опыта с внесением простых минеральных удобрений наблюдалось существенное усиление накопления данного элемента – на 17 % в корнеплодах моркови и на 21 % в продукции свеклы столовой (табл. 3, 4). Подобный стимулирующий эффект проявился и при внесении комплексных минеральных удобрений, но лишь на культуре моркови, в корнеплодах которой в варианте опыта с их высокой дозой было показано увеличение содержания фосфора на 15 % по сравнению с контролем.

Что касается калия, то наиболее заметное увеличение его содержания на удобренном агрофоне относительно контроля, составившее 5–21 %, наблюдалось в корнеплодах моркови, при наибольших различиях при внесении простых минеральных удобрений, особенно при последействии сидерата в сочетании с навозом. Менее выраженная активизация накопления данного элемента по сравнению с контролем, в пределах 3–13 %, причем даже не во всех удобрявшихся вариантах опыта, отмечена в корнеплодах свеклы столовой при наибольшем ее проявлении, как и у моркови, в вариантах опыта с внесением простых минеральных удобрений.

Таблица 3. Относительные различия с контролем вариантов опыта с внесением органических, простых и комплексных минеральных удобрений по урожайности и качеству продукции свеклы столовой в многолетнем цикле наблюдений (2006–2010 гг.), %

Вариант опыта	Урожайность	Товарность	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Сухие вещества	Сумма растворимых сахаров	Нитраты
1. Фон А+ N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ *	+30,2	-	+24,2	+4,9	+13,0	-5,3	-2,3	+59,4
2. Фон А+ N ₈₀ P ₇₄ K ₁₁₈	+23,7	-	+17,4	+2,4	-	-4,7	-	+76,4
3. Фон А+ N ₉₀ P ₈₃ K ₁₃₂	+33,2	-	+20,2	+4,9	+2,3	-4,2	+2,3	+116,2
4. Фон А+ N ₁₀₀ P ₉₂ K ₁₄₇	+39,1	-2,7	+21,9	+6,1	+3,7	-	+4,6	+57,2
5. Сидерат, 38 т/га+ навоз 60 т/га – Фон Б	+3,8	-5,5	+15,7	-	-	-	+3,9	+29,9
6. Фон Б+ N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ *	+36,4	-	+21,3	+20,7	+8,3	-3,7	-5,4	+92,2
7. Фон Б+ N ₈₀ P ₇₄ K ₁₁₈	+30,5	-	+4,5	-	-	-7,9	-5,4	+91,9
8. Фон Б+ N ₉₀ P ₈₃ K ₁₃₂	+38,8	-	+7,9	+2,4	+2,3	-4,7	-	+102,2
9. Фон Б+ N ₁₀₀ P ₉₂ K ₁₄₇	+47,4	+4,1	+5,6	+4,9	+6,9	-3,2	-	+78,6

* Простые минеральные удобрения.

Таблица 4. Относительные различия с контролем вариантов опыта с внесением органических, простых и комплексных минеральных удобрений по урожайности и качеству корнеплодов моркови в многолетнем цикле наблюдений (2006–2010 гг.), %

Вариант опыта	Урожайность	Товарность	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Сухие вещества	Сумма растворимых сахаров	β-каротин, мг %	Нитраты
1. Фон А+ N ₉₀ P ₁₀₅ K ₁₂₀ *	+38,4	-	+3,2	+4,3	+16,5	-3,3	+5,3	+1,5	-5,6
2. Фон А+ N ₆₀ P ₅₅ K ₈₈	+27,3	+2,6	-2,3	-	+6,2	-2,5	+8,0	+3,0	-19,7
3. Фон А+ N ₆₇ P ₆₂ K ₉₈	+36,5	-	-	+2,9	+8,9	-1,7	+9,3	-	-15,1
4. Фон А+ N ₇₄ P ₆₉ K ₁₀₈	+43,4	+2,6	+1,8	-	+12,4	-5,0	+1,3	+4,6	-9,5
5. Сидерат, 38 т/га+ навоз 60 т/га – Фон Б	+5,6	-2,6	-1,4	+2,9	+7,2	-	+6,7	+6,1	+3,9
6. Фон Б+ N ₉₀ P ₁₀₅ K ₁₂₀ *	+41,8	-	+1,8	+17,4	+21,3	-1,7	+5,3	+7,6	-20,0
7. Фон Б+ N ₆₀ P ₅₅ K ₈₈	+31,8	-	-4,6	+4,3	+4,5	-1,7	+6,7	+5,3	-28,9
8. Фон Б+ N ₆₇ P ₆₂ K ₉₈	+38,4	+2,6	-1,4	+5,8	+9,3	-	+2,7	-	-30,3
9. Фон Б+ N ₇₄ P ₆₉ K ₁₀₈	+46,0	+2,6	-1,8	+14,5	+11,0	-3,3	+5,3	+6,9	-32,0

* Простые минеральные удобрения.

Как видим, внесение минеральных удобрений обусловило заметное увеличение содержания основных элементов питания в продукции культур, при наиболее значительном проявлении данного эффекта в отношении азота в продукции свеклы столовой, фосфора и особенно калия – в корнеплодах моркови. При этом наиболее выразительно активизация их накопления проявилась на фоне внесения простых минеральных удобрений. Усиление минерального питания оказалось неоднозначное влияние и на биохимический состав овощной продукции. Так, в большинстве вариантов опыта с удобрениями в корнеплодах моркови и свеклы столовой наблюдалось достоверное снижение содержания сухих веществ соответственно на 2–5 % и 3–8 %. Более того, в вариантах опыта с внесением средней и высокой доз комплексных минеральных удобрений на фоне Б отмечено увеличение содержания в них сухих веществ на 8 и 3 % (табл. 3, 4). Весьма неоднозначным оказалось влияние минеральных удобрений на содержание в продукции овощных культур и растворимых сахаров. Так, если на удобренном агрофоне в корнеплодах моркови наблюдалось увеличение содержания последних на 3–9 % относительно контроля, то в продукции свеклы столовой аналогичная тенденция прослеживалась лишь в отдельных вариантах опыта на фоне А + N₁₀₀P₉₀K₁₄₇, тогда как в основном отмечено либо снижение содержания в ней растворимых сахаров на 2–5 %, либо отсутствие различий с контролем по данному признаку.

Усиление минерального питания способствовало активизации накопления на 2–8 % β-каротина в корнеплодах моркови, при наиболее выраженном проявлении данного эффекта после внесения комплексных минеральных удобрений на фоне последействия сидерата с навозом (Фон Б).

Нетрудно убедиться, что обогащение минерального фона оказало выраженное позитивное действие на продукцию столовых корнеплодов. Вместе с тем нельзя не обратить внимания на один существенный негативный аспект данного агроприема – значительное усиление относительно контроля накопления нитратов в корнеплодах свеклы на 30–116 %. Что касается свеклы столовой, то независимо от основного фона, внесение высокой дозы комплексных минеральных удобрений способствовало нивелированию различий с контролем в содержании нитратов. Для продукции моркови, напротив, было показано снижение содержания нитратов при внесении удобрений по сравнению с контролем на 6–32 %, особенно на фоне последействия сидерата в сочетании с навозом (Фон Б), что коррелировало с показанным выше ослаблением в ней аккумуляции азота в большинстве удобрявшихся вариантов опыта (табл. 4).

Как видим, ответная реакция исследуемых овощных культур на усиление минерального питания оказалась не только выраженной в разной степени, но и имела по ряду исследуемых показателей неоднозначный характер, что свиде-

тельствовало о разной степени их зависимости от эдафического фактора. С целью установления различий степени данной зависимости было проведено сравнительное исследование уровней изменчивости в рамках полевых экспериментов усредненных в многолетнем цикле наблюдений показателей урожайности и качества продукции овощных культур. При этом мы ориентировались на значения коэффициентов вариации (*V*) рассматриваемых признаков, указывающих на уровень их зависимости от состояния минерального фона, т. е. чем выше коэффициент вариации, тем сильнее данная зависимость и наоборот. Сравнительный анализ материалов дал возможность установить, какие исследуемые показатели более, а какие – менее устойчивы к воздействию фактора минерального питания, равно как и определить интегральную степень устойчивости к нему в этом плане каждой изучаемой культуры.

По оценкам С. Н. Сенова и В. Ф. Ковязина [4], изменчивость ряда для биологических объектов считается малой, если находится в пределах 11–30 % и большой, если превышает 31 %. При рассмотрении анализируемой информации необходимо принять во внимание активную реакцию овощных культур на воздействие эдафического фактора, позволяющую в определенной мере противостоять ему и регулировать исследуемые признаки в пределах генетически детерминированных диапазонов варьирования. Это дало основание сузить обозначенные выше границы малой изменчивости ряда для рассматриваемых показателей до 11 %. Соответственно ее средний диапазон характеризовался уровнем вариабельности в пределах 11–20 %, а максимальный – выше 20 %. Принятая градация уровней изменчивости анализируемых признаков совпадает с рекомендуемой Г. Н. Зайцевым [2].

Анализ данных, приведенных в табл. 5, выявил весьма широкие диапазоны изменений в рамках полевого эксперимента коэффициентов вариации показателей урожайности и качественных характеристик продукции овощных культур в многолетнем цикле наблюдений.

Это свидетельствовало о разном уровне их зависимости от состояния минерального фона и позволяло обозначить признаки, а также овощные культуры, обладающие наибольшей и наименьшей степенью данной зависимости. Большинство исследуемых показателей у моркови обладало малым уровнем изменчивости, и лишь для столовой свеклы – урожайности и содержания нитратов – были установлены ее средний и высокий уровни.

Соответственно наименьшими значениями коэффициента вариации, свидетельствующими о наименее выраженной зависимости от уровня агрохимического обеспечения, характеризовались параметры накопления: у свеклы столовой – урожайность корнеплодов, а у моркови – товарные качества и урожайность корнеплодов, а также содержание в них азота, сухих веществ и растворимых сахаров. Низким уровнем подобной

зависимости было отмечено также содержание в корнеплодах моркови и β-каротина.

Интегральное же представление о степени общей зависимости данных культур от состояния минерального фона можно составить по усредненным (средневзвешенным) для совокупности

анализируемых признаков значениям коэффициентов вариации, приведенным в табл. 5.

Оказалось, что наибольшей степенью данной зависимости характеризовалась свекла столовая ($V = 7,4\%$) и наименьшей степенью зависимости от состояния минерального фона ($V = 5,6\%$) отличалась морковь.

Таблица 5. Значения коэффициентов варьирования урожайности и качественных характеристик продукции овощных культур, %

Показатель	Свекла столовая	Морковь	$V, \% \text{ средн.}$	Позиция показателя в ряду увеличения уровня зависимости от уровня минерального питания
Урожайность	11,9	12,1	12,0	7
Товарность	2,6	1,9	2,3	1
Содержание азота	7,6	2,3	4,9	5
Содержание фосфора	5,9	5,8	5,9	6
Содержание калия	4,2	5,5	4,8	5
Содержание сухих веществ	2,5	1,7	2,1	1
Содержание раствор. сахаров	3,5	2,8	3,2	2
Содержание витамина С	Не опре- делено	Не опре- делено	Не опре- делено	Не определено
Содержание β-каротина	«	2,9	«	«
Содержание нитратов	20,6	15,1	17,9	8
$V, \% \text{ средн.}$	7,4	5,6	6,5	

Выходы. Установлено, что усиление минерального питания способствовало активизации накопления в корнеплодах моркови β-каротина на 2–8 % и растворимых сахаров на 3–9 %, на фоне снижения в продукции свеклы столовой и моркови сухих веществ на 3–8 %, а также приводило к увеличению содержания нитратов на 57–116 % в корнеплодах столовой свеклы и снижению данного показателя на 6–27 % в корнеплодах моркови.

Выявлено, что наиболее выраженной зависимостью от уровня минерального питания характеризовались следующие показатели: у свеклы столовой – содержание азота, фосфора и нитратов, у моркови – содержание фосфора и калия, а наименьшим уровнем данной зависимости были отмечены: у свеклы столовой – урожайность, у моркови – товарные качества и урожайность корнеплодов, а также содержание в них азота, β-каротина, сухих веществ и растворимых сахаров.

Литература

1. Борисов В. А. Удобрение овощных культур. М., 1978.
2. Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов // Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1973.
3. Рупасова Ж. А. Влияние способов профилирования почвы в условиях орошения на биохимический состав корнеплодов моркови / Ж. А. Рупасова [и др.] // Овощеводство / Нац. акад. наук Беларусь, РУП «Ин-т овощеводства» ; редкол.: А. А. Аутко (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2009. Вып. 16. С. 373–381.
4. Сенов С. Н., Ковязин В. Ф. Лесоводство: Учеб. пособие. Л., 1990.
5. Степуро М. Ф., Матюк Т. В., Титко Г. Л. Влияние доз простых и комплексных удобрений в овоще-сидеральном звене овоще-кормового севооборота по действию и последействию навоза и сидератов на урожайность и качество овощей // Овощеводство / Нац. акад. наук Беларусь, РУП «Ин-т овощеводства»; редкол.: А. А. Аутко (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2009. Вып. 16. С. 346–353.
6. Степуро М. Ф. Удобрение и орошение овощных культур. Минск, 2008.
7. Формирование биохимического состава плодов видов семейства вересковые (Ericaceae) при интродукции в условиях Беларусь / Ж. А. Рупасова [и др.]. Минск, 2011.

**РУП «Институт овощеводства»,
РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»**

Поступила в редакцию 10.10.2011

М. Ф. Степуро, А. А. Аутко

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА АГРОПРИЕМОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СТОЛОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ ПО БИОПРОДУКТИВНЫМ И КАЧЕСТВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

В результате проведенных исследований по испытанию простых и комплексных минеральных удобрений, внесенных по последействию сидерата и сидерата с навозом установлено, что наиболее выраженной зависимостью от уровня минерального питания характеризовались следующие показатели: у свеклы столовой – содержание азота, фосфора и нитратов, у моркови – содержание фосфора и калия; а наименьшим уровнем данной зависимости были отмечены: у свеклы столовой – урожайность, у моркови – товарные качества и урожайность корнеплодов, а также содержание в них азота, β-каротина, сухих веществ и растворимых сахаров.

Усиление минерального питания способствовало активизации накопления в корнеплодах моркови β-каротина на 2–8 % и растворимых сахаров на 3–9 %, на фоне снижения в продукции свеклы столовой и моркови сухих веществ на 3–8 %, кроме того приводило к увеличению содержания нитратов на 57–116 % в корнеплодах столовой свеклы и снижению данного показателя на 6–27 % в корнеплодах моркови.

M. F. Stepuro, A. A. Autko

COMPLEX ASSESSMENT OF CULTIVATION AGRO-MEANS OF TABLE ROOT CROPS REGARDING BIO-PRODUCTIVE AND QUALITATIVE INDICES

As a result of the carried out researches of simple and complex mineral fertilizers test brought due to green fertilizer and green fertilizer with manure it was found that the most expressed dependence on the level of mineral nutrition the next indicators were characterized by: a table beet – the content of nitrogen, phosphorus and nitrates, carrots – the content of phosphorus and potassium; and the least level of the given dependence have been noted for: a table beet – productivity, carrots – commodity qualities and productivity of root crops, and also content of nitrogen, β-carotin, solids and soluble sugars in them.

Strengthening of mineral nutrition promoted accumulation activation in carrots root crops β-carotin by 2–8 % and soluble sugars by 3–9 %, on the background of the decrease of table beet and carrots of solids by 3–8 %, and also led to the increase of content nitrates by 57–116 % in root crops of a table beet and decrease in the given indicator by 6–27 % in carrots root crops.

УДК 636.2.084:636.034

**Г. В. Наумова, А. И. Козинец, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова,
Н. А. Жмакова, О. Г. Голушки**

НОВАЯ КОРРИГИРУЮЩАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА «ЭКОЛИН-4» ДЛЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ КОРОВ

Изучено влияние скармливания высокопродуктивным коровам в основном периоде лактации разных доз (50 и 100 мл на гол.) корригирующей гуминовой добавки «Эколин-4».

Установлено, что применение Эколина-4 повышает показатели среднесуточного удоя и качественного состава молока при существенной экономической эффективности.

Изменяющиеся условия ведения молочно-го животноводства ставят перед учеными и производственниками ряд острых проблем, связанных с необходимостью предупреждения болезней животных на фоне повышения их продуктивности и получения продукции с максимальной биологической и экологической ценностью. Это, в первую очередь, относится к высокопродуктивным коровам, которые трансформируют питательные вещества кормов в молоко с высоким коэффициентом и отличаются напряженной интенсивностью обмена веществ. Они длительное время могут иметь отрицательный баланс метаболизма и восполнять его за счет собственных пластических веществ. Нехватка элементарной компенсации может инициировать ряд нарушений в обмене веществ в форме недостаточности и дисбаланса, которые приводят к морфологическим изменениям на клеточном и субклеточном уровнях. Такие изменения особенно выражены в тканях, органах и системах с интенсивным обменом: в эндокринных железах, репродуктивных органах, нервной системе, органах дыхания и пищеварения, что резко сокращает способность этих органов выполнять физиологические функции. В результате глубоких хронических расстройств обмена веществ снижаются защитные силы и адаптационные возможности организма: падает естественная резистентность и иммунологическая реактивность, что создает условия для повышенной восприимчивости животных не только к инфекциям, но и к токсическому воздействию факторов окружающей среды.

Важную роль в данном случае играют биологически активные препараты, положительно воздействующие на обменные процессы в организме животных, корrigирующие последствия недостаточного и несбалансированного кормления, нарушения зоогигиенических условий содержания, стрессовых явлений. Под влиянием таких препаратов улучшается иммунный статус и общее состояние организма, повышается энергетический обмен, корrigирующие и компенсаторные возможности внутренних органов, тканей и всего организма в целом [3, 4, 7, 8].

Препараты, получаемые на основе природного сырья, богатого биологически активными веществами, такими, как меланоидины и гуминовые вещества, обладающими мембранотропным действием, ускоряющими поступление в клетку питательных веществ и повышающими эффективность их использования помогают решить ряд проблем.

В результате экспериментов по использованию гуминовых и меланоидиновых препаратов в качестве кормовых добавок для сельскохозяйственных животных накоплен обширный материал, доказывающий, что они приводят к ускорению роста животных, снижению заболеваемости и падежа, повышению устойчивости к неблагоприятным факторам. Такие препараты не накапливаются в организме, не загрязняют окружающую среду при выведении из него, а метаболизируются, оказывая положительное влияние на формирование биопродукции [9–13].

Природные комплексы биологически активных веществ обладают широким спектром действия, в отличие от синтетически полученных активаторов обмена, являющихся для организма чужеродными грубыми стимуляторами, создающими угрозу быстрого истощения функциональных метаболических резервов.

Применение биологически активных веществ, оптимально сбалансированных в процессе эволюции самой природой, в форме, естественной для организма и легко им усвояемой, следует рассматривать как наиболее физиологичный метод нормализации обменных процессов и восстановления функциональных особенностей организма.

Институтом природопользования НАН Беларуси совместно со специалистами РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству» разработана новая кормовая добавка «Эколин-4», корригирующая обменные процессы у высокопродуктивных коров в основной производственный период.

В качестве основы рецептуры новой кормовой добавки «Эколин-4» предложен меланоидино-гуминовый препарат, получаемый из торфа и ростков солода. Для повышения антиоксидант-

ной активности в его состав включен дубовый экстракт.

С целью усиления биологической эффективности в новую кормовую добавку вводят микроэлементы селен и йод в качестве компонентов, интенсифицирующих обменные процессы у животных, усиливающих иммунобиологические свойства. Известно, что в Беларуси содержание селена и йода в кормах недостаточно, поэтому селен- и йодсодержащие добавки должны вводиться обязательно. Данные микроэлементы относят к биологически активным антиоксидантам, оказывающим на организм животного огромное влияние. Селен прямым или косвенным образом участвует практически во всех обмен-

ных процессах. Он выполняет функции сильного адаптогена, антиоксиданта, иммуностимулятора и активатора роста и развития [1, 2, 5, 6].

Селен вводится в добавку в форме селенита натрия, а йод – йодида калия. В результате окислительно-восстановительных реакций неорганические соединения селена и йода переходят в органическую форму, взаимодействуя с гуминовыми кислотами, аминокислотами и протеинами, что снижает токсичность этих микроэлементов для организма животных и повышает их усвоемость.

Химический состав новой кормовой добавки представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав биологически активной кормовой добавки «Эколин-4»

Компонент	Содержание	
	Проценты в растворе	Проценты от органической массы препарата
Органические вещества	5,82	–
Минеральные вещества	3,56	–
Гуминовые вещества	1,54	26,46
Меланоидины	2,86	49,14
Редуцирующие вещества	0,02	0,34
Фенольные соединения	0,15	7,57
Органические кислоты	1,03	17,70
Аминокислоты	0,14	0,03
Общий азот	0,11	0,11
Селен, мг %	–	0,05
Йод, мг %	–	1,07

Преобладающим компонентом кормовой добавки являются меланоидины, содержание которых составляет 49,14 % от органической массы (ОМ). Значительным является также присутствие торфяных гуминовых веществ (26,46 %) ОМ и свободных фенольных соединений (7,57 %), в большей степени представленных танинами дубового экстракта. Обращает на себя внимание наличие в препаратах значительных количеств низкомолекулярных карбоновых кислот (17,70 % ОМ). Содержание общего азота составляет 0,11 % ОМ.

В препарат входит широкий спектр аминокислот, которые представлены в значительной мере аспарагиновой кислотой (около 30 %), глицином (10,4), аргинином (8,6), аланином (8,4 %) в том числе незаменимыми аминокислотами — фенилаланином (5,7 %), метионином (4,8), лизином (2,9), цистеином (6,1 %) и др. Общее содержание аминокислот в добавке «Эколин-4» составляет 0,14 % в растворе.

Результаты исследований аминокислотного состава представлены в табл. 2.

Исследования по изучению эффективности новой добавки были проведены в РУП «Экспе-

риментальная база «Жодино» Смолевичского района Минской области на коровах черно-пестрой породы в основном цикле лактации (4–5 мес.) с удоем свыше 7 тыс. кг молока. Схема опыта представлена в табл. 3.

Коровы опытной группы дополнительно к основному рациону, принятому в хозяйстве (табл. 4), в течение первого опытного периода получали корректирующую добавку в смеси с концентратами в одно кормление. Во второй части опыта в течение 30 дней проводилось наблюдение за общим физиологическим состоянием подопытных животных и их молочной продуктивностью.

В процессе выполнения исследований изучались такие показатели, как продуктивность коров — по среднесуточному удою, содержанию жира, белка, лактозы в молоке в начале, середине и в конце опыта, путем контрольных доек с определением этих показателей на приборе «Милкосан».

Отбор проб молока для качественного анализа производился в начале исследований до поедания добавки и в конце опыта, по окончанию скармливания добавки животным.

Таблица 2. Аминокислотный состав препарата «Эколин-4»

Аминокислота	Содержание	
	Миллиграмм-проценты в растворе препарата	Проценты от суммы аминокислот
Аспарагиновая	29,9	21,4
Глицин	14,5	10,4
Аланин	11,7	8,4
Аргинин	12,0	8,6
Пролин	9,4	6,7
Цистеин	8,5	6,1
Лизин	4,0	2,9
Гистидин	2,4	1,7
Серин	7,8	5,6
Глутаминовая	3,9	2,8
Тreonин	3,5	2,5
Тирозин	6,3	4,5
Метионин+валин	6,7	4,8
Фенилаланин	8,0	5,7
Лейцин	6,0	4,3
Триптофан	5,0	3,6
Итого	139,6	100,0

Таблица 3. Схема опыта

Группа	Количество голов в группе	Продолжительность опыта, дни		Условия кормления
		I период	II период	
I (контроль)	8	30	30	ОР (основной рацион)
II (опытная)	8	30	30	ОР + «Эколин-4» (50 мл)
III (опытная)	8	30	30	ОР + «Эколин-4» (100 мл)

Таблица 4. Рацион подопытных коров

Показатель	Группа		
	I контрольная	II опытная	III опытная
Трава пастбищная	40	40	40
Зеленая масса подкормки	28	29	27
Комбикорм	6,5	6,5	6,5
В рационе содержалось			
кормовых единиц	22,5	22,7	22,3
обменной энергии, МДж	270,5	272,5	268,5
сухого вещества, кг	20,0	20,2	19,8
сырого протеина, г	3818	3849	3788
переваримого протеина, г	2700	2722	2678
сырого жира, г	560	557	563
сырой клетчатки, г	4371	4426	4316
сахара, г	775	779	771

Во второй период лактации корова должна восполнить запас питательных веществ, использованных в период раздоя на синтез молока. Уменьшение продуктивности с ходом лактации не должно служить основанием для снижения полноценности кормления животного, поскольку в этот период происходит рост плода, на формирование органов и тканей которого расходуется значительное количество органических и минеральных веществ, что характеризует данный физиологический этап как ответственный не только за продуктивность, но и за будущее потомство.

Скармливание изучаемой добавки оказало положительное влияние на молочную продуктивность (табл. 5), как по окончанию ее введения в

состав рациона, так и в период изучения ее последействия.

Через месяц после начала исследований общее снижение среднесуточного удоя составило в среднем 5,2 кг. Однако следует отметить, что в I и II опытных группах молочная продуктивность снизилась на 5,1 и 4,9 кг, соответственно, в то время как в контроле этот показатель составил 5,9 кг.

После прекращения скармливания биологически активной добавки «Эколин-4» в течение 30 дней коровы опытных групп находились под наблюдением, и через 30 дней была проведена контрольная дойка. В целом по всему поголовью наблюдалось некоторое снижение молочной

продуктивности, что связано с изменением стадии лактации и снижением качества пастбищной травы.

В контрольной группе среднесуточный удой во 2-м мес. составил 23,1 кг, в опытных – 24,4 кг, т. е., молочная продуктивность в опытных группах была выше на 1,3 кг, или на 5,6 %, чем в контролльном.

Исследования качественных показателей молока (табл. 6) свидетельствуют, что в опытных группах увеличилась его жирность. Так, во II группе разница по сравнению с началом исследований составила 0,03 %, в III опытной группе – 0,16 %, в то время как в контрольной жирность молока снизилась на 0,05 %. Это связано с ухудшением ферментативных процессов в рубце после раздоя и снижением синтеза ненасыщенных жирных кислот.

В течение исследований наблюдалась тенденция к увеличению содержания белка во всех трех группах. К концу опытов этот показатель возрос в контрольной группе на 0,08 %, а в опытных – на 0,12 %.

Содержание молочного сахара у коров опытных групп имело некоторую тенденцию к снижению показателей относительно начала периода: на 0,18 % во II группе и на 0,16 % – в III группе, что может быть обусловлено повышенным расходом глюкозы крови в организме лактирующей коровы в данный период.

Анализ экономической эффективности (табл. 7) показал, что использование в кормлении высокопродуктивных коров корригирующей добавки «Эколин-4» положительно отразилось на уровне молочной продуктивности коров за производственный цикл.

Таблица 5. Среднесуточный удой подопытных животных

Показатель	Группа		
	I контроль	II опытная	III опытная
Среднесуточный удой в начале опыта, кг	30,8±1,22	30,7±2,32	30,8±2,20
Среднесуточный удой через 1 мес., кг	24,9±1,64	25,6±1,51	25,9±1,91
Среднесуточный удой через 2 мес., кг	23,1±1,93	24,4±1,54	24,4±1,76

Таблица 6. Качественные показатели молока

Показатель	Группа		
	I контрольная	II опытная	III опытная
Начало опыта			
Жирность, %	3,33±0,06	3,38±0,12	3,32±0,07
Белок, %	2,71±0,09	2,68±0,06	2,71±0,05
Лактоза, %	5,10±0,07	5,09±0,04	5,04±0,05
Плотность, г/дм ³	1027,0±0,4	1027,2±0,38	1027,1±0,34
Кислотность, ° Т	17,4±0,2	17,4±0,2	17,1±0,14
Конец опыта			
Жирность, %	3,28±0,21	3,41±0,11	3,47±0,08
Белок, %	2,79±0,08	2,80±0,05	2,83±0,08
Лактоза, %	5,01±0,07	4,91±0,03	4,88±0,03
Плотность, г/дм ³	1028,5±0,5	1028,1±0,4	1028,0±0,33
Кислотность, ° Т	17,1±0,14	17,4±0,20	17,3±0,18

Таблица 7. Экономическая эффективность использования добавки «Эколин-4»

Показатель	Группа		
	I	II	III
Среднесуточный удой на начало опыта, кг	30,8	30,7	30,8
Массовая доля жира, %	3,33	3,38	3,32
Количество 4 %-го молока, кг	25,6	25,9	25,6
Среднесуточный удой через 30 дней, кг	24,9	25,6	25,9
Массовая доля жира, %	3,28	3,41	3,47
Количество 3,4 %-го молока, кг	24,02	25,68	26,43
Количество дополнительно полученного молока, кг	–	336	480
Стоимость добавки «Эколин-4» за опыт, тыс. руб.	–	6,0	12,0
Экономический эффект за опыт по группе, тыс. руб.	–	229,5	324,0
В расчете на одну голову, тыс. руб.	–	28,7	40,5

Следует отметить, что как в контрольной, так и в опытных группах при одинаковых условиях кормления и содержания имело место плавное снижение среднесуточных удоев. Однако в опытных группах это снижение было меньше, чем в контрольной, что указывает на возможность получения экономического эффекта при использовании корrigирующей добавки «Эколин-4».

В денежном выражении экономический эффект от использования корrigирующей добавки «Эколин-4» во II группе составил 28,7 тыс. руб.,

а в III опытной группе – 40,5 тыс. руб. на голову за период исследований.

Таким образом, наиболее эффективной для корригирования обмена веществ у высокопродуктивных коров за производственный цикл оказалась доза препарата «Эколин-4» в расчете 0,2 г/кг живой массы, или 100 мл на голову в сутки.

Скармливание корrigирующей добавки «Эколин-4» высокопродуктивным коровам способствовало увеличению продуктивности и повышению качества получаемого молока по содержанию жира и белка.

Л и т е р а т у р а

1. Анакина Ю. Г. Селен и кормление животных // Овцеводство. М., 1990.
2. Букас В. В. Использование селенита натрия при откорме молодняка крупного рогатого скота // Зоотехническая наука Беларуси. Минск, 2003. Т. 38. С. 143–147.
3. Горлов И., Саломатин В., Сложенкина М., Варакина Е., Корнеев И. Эффективные кормовые добавки для лактирующих коров // Комбикорма. 2007. № 8. С. 86.
4. Деркач, В. А. Использование биологически активных препаратов для иммунокоррекции организма телят // Зоотехническая наука Беларуси. Минск, 2003. Т. 38. С. 325–328.
5. Ермаков В. В., Ковалевский В. В. Биологическое значение селена. М., 1974.
6. Касумов С. Н. Биологическое значение селена для жвачных животных. М., 1979.
7. Кашин А. С. Антропогенные экологические болезни телят // Ветеринария. 2003. № 2. С. 37–38.
8. Налетько А. А., Радчиков В. Ф., Гурин В. К. Использование новой кормовой добавки на основе сырья из местных источников в составе комбикорма в рационах бычков // Весці Нацыянальнай акадэміі науку Беларусі. 2007. № 1. С.86–90.
9. Наумова Г. В., Кветковская А. В., Макарова Н. Л., Овчинникова Т. Ф., Жмакова Н. А., Заяц В. Н., Надаринская М. А. Биологически активные препараты из местного природного сырья и их испытания в качестве кормовых добавок // Природопользование. Минск, 2010. Вып. 18. С. 164–169.
10. Наумова Г. В., Томсон А. Э., Овчинникова Т. Ф., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Добрук Е. А., Пестис В. К. Новый биологически активный препарат «Гумосил» и эффективность его использования в рационах дойных коров // Гуминовые вещества и фитогормоны в сельском хозяйстве: Материалы 5-й Междунар. конф. Днепропетровск, 2010. С. 30–32.
11. Радчиков В. Ф., Панова В. А., Наумова Г. В. Эффективность использования биологически активного препарата «Мальтамин» в рационах телят // Сб. докладов межд. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы интенсификации производства продукции животноводства» 2005. С. 36–38.
12. Рехина И. И., Терентьев В. А., Новикова М. В. и др. Меланоидиносодержащий препарат МИГИ-К из мидий и некоторые его характеристики // Биологические науки. 1991. № 10. С. 47–51.
13. Чернухо С. В. Переваримость и использование питательных веществ в рационах при скармливании телятам биологически активного препарата Мальтамин // Сб. научн. тр. «Зоотехническая наука Беларуси». Минск, 2002. Т. 37. С.177–182.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству**

Поступила в редакцию 31.08.2011

**Г. В. Наумова, А. И. Козинец, Н. Л. Макарова,
Т. Ф. Овчинникова, Н. А. Жмакова, О. Г. Голушко**

НОВАЯ КОРРИГИРУЮЩАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА «ЭКОЛИН-4» ДЛЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ КОРОВ

Представлены результаты исследований по изучению воздействия новой кормовой добавки «Эколин-4» на продуктивность и качество молока высокопродуктивных коров.

Цель настоящей работы – оценить эффективность использования биологически активной кормовой добавки «Эколин-4», корrigирующей обменные процессы у высокопродуктивных коров в основной производственный период.

Испытания проведены в РУП «Экспериментальная база “Жодино”» Смолевичского района Минской области на коровах черно-пестрой породы в основном цикле лактации. Коровы контрольной группы получали основной рацион, принятый в хозяйстве, I и II опытных групп – дополнительно к основному рациону в смеси с концентратами в одно кормление – корригирующую добавку «Эколин-4» в дозах 0,1 и 0,2 мл/кг живой массы соответственно. В течение 30 дней после окончания скармливания проводилось наблюдение за общим физиологическим состоянием подопытных животных, их молочной продуктивностью и качеством молока.

Установлено, что наиболее эффективной для корригирования обмена веществ у высокопродуктивных коров за производственный цикл оказалась доза препарата «Эколин-4» в расчете 0,2 мл/кг живой массы в сутки. Скармливание «Эколина-4» способствовало увеличению среднесуточного удоя за период исследований в среднем на 1,3 кг или 5,6%; повышению качества получаемого от животных молока по содержанию жира и белка.

Использование корригирующей добавки «Эколин-4» в дозе 0,2 мл/кг живой массы позволило получить за период исследований экономический эффект на одну голову в размере 40,5 тыс. руб.

**G. V. Naumova, A. I. Kozinets, N. L. Makarova
T. F. Ovchinnikova, N. A. Zhmakova, O. G. Golushko**

NEW CORRECTING FODDER ADDITIVE «ECOLIN-4» FOR HIGH-PRODUCTIVE COWS

Research results on studying of influence of the new fodder additive «Ecolin-4» on efficiency and quality of milk of highly productive cows are presented.

The purpose of the present work is estimating efficiency of use of biologically active fodder additive, «Ecolin-4» correcting exchange processes at highly productive cows during the basic industrial period.

Tests are spent in RUE «Experimental base “Zhodino”» Smolevichsky area of the Minsk district on cows of black-motley breed in a lactation basis cycle. Control group cows received the basic diet accepted in an economy, I and II test groups – in addition to the basic diet in a mix with concentrates in one feeding – correcting additive «Ecolin-4» in doses of live weight of 0,1 and 0,2 ml/kg accordingly. Within 30 days after the feeding termination the supervision over the general physiological condition of experimental animals, their dairy efficiency and quality of milk was done.

It has been found, that the most effective for correcting metabolism of highly productive cows for a production cycle had a preparation dose «Ecolin-4» in calculation of live weight of 0,2 ml/kg a day. Feeding with «Ecolin-4» promoted increase in a daily average yield of milk during researches on the average by 1,3 kg or 5,6%; improvement of milk quality received from animals regarding fat and protein content.

Application of correcting additive «Ecolin-4» in a dose of live weight of 0,2 ml/kg has allowed to receive for the period of researches economic benefit 40,5 thousand rbl. per head.

УДК 536.62+519.68

Н. П. Воронова

ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ РЕЖИМА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ШИХТЫ ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ

На основании математического моделирования процессов охлаждения в методических печах с толкающим приводом разработана методика инженерного расчета режима затвердевания шихты при агломерации. С помощью данной методики оптимизированы основные параметры, необходимые при агломерации: площадь спекания, длина ленты агломерационной машины, скорость движения палет, время полного затвердевания шихты.

Для конкретной агломерационной машины СМ-961 вычислена оптимальная скорость движения палет для полного затвердевания шихты.

Технология реализована на ОАО «Минский завод стройматериалов». В результате полузаводских испытаний проведен анализ технологии производства аглопоритового песка и щебня с использованием фрезерного торфа и с добавлением опилок.

Одним из направлений рационального использования твердых горючих ископаемых является их комплексная переработка, в результате которой извлекаются наиболее полно, входящие в них органические и минеральные компоненты, и на этой основе производится несколько видов продукции различного качества и назначения, что равнозначно расширению сырьевой базы промышленности, увеличению ассортимента и улучшению показателей работы предприятий по переработке.

К таким технологиям можно отнести производство аглопорита из глинистого сырья с использованием различных отходов промышленности, особенно топливосодержащих (топливные шлаки, золы, отходы добычи сланцев, угля). Очень выгодно и перспективно использование отходов обогащения угля методами термического обогащения в системе вихревых камер, либо термобрикетирования на штемпельных прессах без применения связующих материалов, в результате чего получается малодымный продукт.

Названная технология высоко оценена с экономических позиций по имеющимся фактическим и проектным материалам, нормативным документам и технологическим разработкам.

Основным сырьем для производства аглопорита являются повсеместно распространенные малопластичные, запесоченные глинистые породы, суглинки, супеси, лесс и т. д. Промышленное производство аглопорита из местного сырья в Беларуси началось в Минске в 1958 г.

Как известно, отходы углеобогащения по стране составляют 64 млн т в год. За счет использования полностью данного сырья для производства аглопорита можно увеличить объем производства легкого бетона, так как аглопорит является его составной частью, и уменьшить его стоимость.

Политика нашего государства, обладающего залежами торфа, направлена на то, чтобы

планомерно обеспечивать состояние технической и технологической готовности к тому временному периоду, когда замена топливосодержащих компонентов торфом станет либо объективно необходимой с точки зрения экономики, либо в силу создания стратегической ситуации.

Перспективным направлением в развитии технологии производства искусственного заполнителя – аглопорита является применение торфа и отходов деревообработки в виде опилок в качестве отщающей и выгорающей добавки к сырью, при производстве аглопоритового песка, щебня и гравия.

Опыт показывает, что неудачное конструктивное решение или неправильный режим охлаждения шихты при производстве аглопорита приводит к низкому качеству полученного спекшегося прочного пористого конгломерата. Особое значение приобретает теплофизическое обоснование рациональных режимов охлаждения. В связи с этим актуальной задачей является исследование распределения поля температур внутри шихты в зависимости от различных скоростей движения ленты агломерационной машины, а следовательно, от времени охлаждения.

Математическая модель процессов охлаждения в методических печах с движущейся лентой в общем случае должна содержать сопряженные системы уравнений, описывающие различные физические процессы: затвердевание шихты; оплавление поверхности; перераспределение примесей, газов и др. Недостаточная изученность ряда физических явлений, сложность системы дифференциальных уравнений вынуждают упростить математическую формулировку задачи, описывающую охлаждение шихты.

В последнее время наблюдается тенденция изучения динамики затвердевания с помощью численных методов решения краевых задач для уравнения теплопроводности. Этот подход связан со значительными затратами времени на

составление и отладку программ. Однако для многих реальных теплотехнологических процессов не требуется та высокая степень точности, которую дают аналитические либо численные методы моделирования. В таких случаях можно воспользоваться упрощенными, так называемыми инженерными способами расчетов, позволяющими проектировщику или технологу с достаточной для практических целей степенью точности определить технологически важные параметры.

При исследовании процесса охлаждения шихты после расплава и сгорания вкраплений, необходимо знать, как перемещается в расплаве фронт затвердевания, как распределяются температуры T в сечении твердой корки и каково время t окончания затвердевания.

Процесс спекания шихты в производстве аглопорита с применением агломерационной машины СМ-961 делится на 4 этапа [3]:

- испарение гигроскопической влаги при температурах до 100 °C;

- подогрев слоя шихты при температуре от 100 до 800 °C (в этот период происходит дегидратация глинистых минералов и гидрооксидов железа);

- воспламенение топлива, находящегося в шихте (в данный период при температуре 800–1600 °C железные оксиды восстанавливаются до закисного состояния и способствуют образованию жидкой фазы, происходит спекание зерен внутри отдельных частиц и контактное спекание их между собой, в результате сыпучий слой превращается в спекшийся пористый конгломерат);

- охлаждение конгломерата (завершаются процессы кристаллизации магнетита и α-кристобалита, α-кварц переходит в β-кварц, при этом кристаллическими фазами являются кварц, полевой шпат, кристобалит и муллит).

Весь процесс агломерации происходит при определенном аэродинамическом режиме. Разряжение по зонам спекания составляет 1,4–2,0 кПа.

Рассмотрим процесс, соответствующий третьему этапу технологии при следующих допущениях: скорость перемещения фронта затвердевания в корке шихты сравнительно невелика; параметры внешней охлаждающей среды T_τ резко не изменяются; форма объекта может быть принята в разрезе квадратного сечения с закруглениями; изотермы фронта затвердевания сохраняют взаимное подобие по мере продвижения в глубь объекта; распределение температуры в сечении твердой корки шихты определяется путем решения краевой задачи для расчетной области (рис. 1) вида [1]:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0; \quad (1)$$

$$T|_{r=r_\tau} = T_\tau, \quad T|_{r=l} = T_\Pi, \quad (2)$$

где x, y – координаты на плоскости;

$r = \sqrt{x^2 + y^2}$; r_τ – текущее значение радиуса-вектора r ; l – размер объекта; T_τ , T_Π – соответственно температура кристаллизации и температура поверхности.

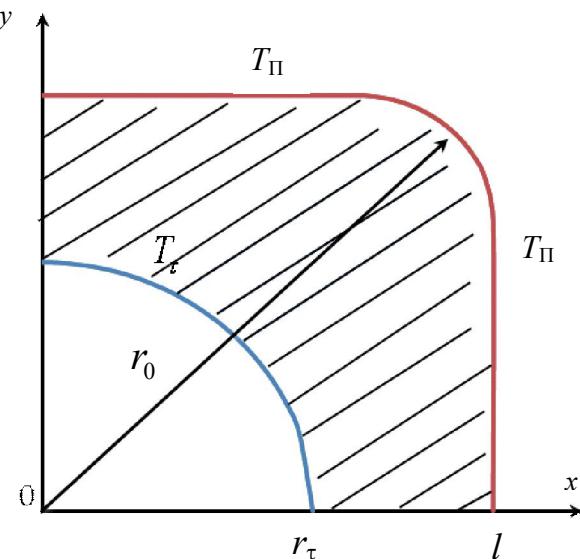


Рис. 1. Расчетная область в декартовых координатах

Переходя в краевой задаче (1)–(2) от декартовых координат к полярным: $x = r \cos \varphi$, $y = r \sin \varphi$ и учитывая симметрию задачи после преобразований, получаем для каждого фиксированного значения времени

$$T_{(r,\tau)} = T_\tau + \frac{T_\tau - T_\Pi}{\ln \frac{r_\tau}{l}} \cdot \ln \frac{r}{r_\tau}. \quad (3)$$

Рассмотрим уравнение теплового баланса с учетом фазового перехода в виде [4]

$$\int_0^l \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \right) \Big|_{r=0} dl = \rho (L + c(T_\tau - T)) \frac{dS}{d\tau}, \quad (4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности; ρ – плотность; L – удельная теплота кристаллизации; c – коэффициент теплоемкости;

$T(\tau) = \frac{1}{S} \iint_S T(x, y, \tau) dx dy$ – среднемассовая тем-

пература твердой корки к моменту τ ; $S(\tau)$ – площадь сечения твердой корки.

Левая часть формулы (4) представляет собой расход теплоты с охлаждаемого участка длиной l , правая – учитывает выделение теплоты фазового перехода и изменение состояния твердой корки при снижении температуры от T_τ до $T(\tau)$.

Известно, что температура и расход теплоты являются гармоническими функциями и удовлетворяют уравнению Лапласа. Рассмотрим функцию $W(z) = Q(x, y) + i\theta(x, y)$ – комплексный термический потенциал, которая определяет систему изотерм $\theta = \text{const}$ и линий тока $Q = \text{const}$.

При выполнении условий Коши–Римана:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial \theta}{\partial y}, \quad \frac{\partial Q}{\partial y} = -\frac{\partial \theta}{\partial x},$$

можно установить связь между температурой и расходом теплоты. Отображение $W(z)$ является конформным и обладает свойствами консерватизма углов и постоянства растяжений.

Важным этапом решения задачи о затвердевании шихты является нахождение отображающей функции, преобразовывающей расчетную область твердой корки в область более простого вида (квадратное сечение с закруглениями в круг (рис. 2)).

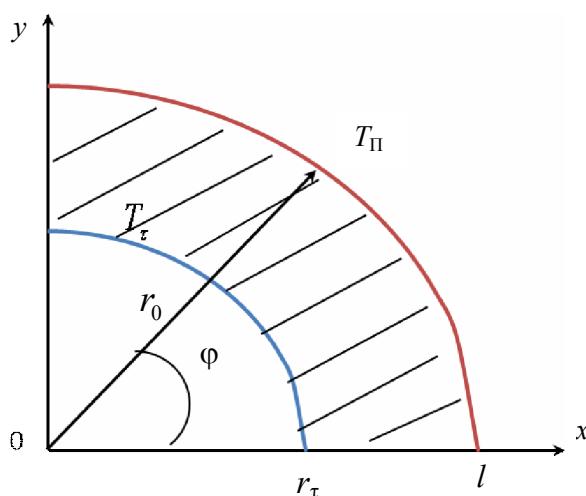


Рис. 2. Расчетная область после отображения

Отображающую функцию ищем в виде ряда $Z_n = \alpha_1 \xi + \alpha_2 \xi^5 + \dots$, ограничиваясь двумя слагаемыми, тогда получаем для контура объекта в параметрическом виде $X = f_1(\omega)$, $Y = f_2(\omega)$, $\omega = \varphi + i\psi$ и $Z = X + iY$. Координаты X и Y находим по формулам [3]

$$\begin{cases} X = \alpha_1 \cos \varphi l^{-\psi} - \alpha_2 \cos 5\varphi l^{-5\psi} \\ Y = \alpha_1 \sin \varphi l^{-\psi} - \alpha_2 \sin 5\varphi l^{-5\psi} \end{cases} \quad (5)$$

Уравнение теплового баланса примет вид

$$\frac{dS}{d\tau} = \frac{\pi}{2} l^2 \frac{d\xi}{d\tau} (\alpha_1^2 l^{-2\psi} + 25\alpha_2^2 l^{-10\psi}).$$

Значение модуля производной $\frac{dS}{d\tau}$ можно вычислить, используя (3) по формуле:

$$M = \frac{2K\Theta_\Pi\tau}{2+K\Theta_\Pi} = \frac{1}{4} [\alpha_1^2 (1 - (1 - 2 \ln r_\tau) r_\tau^2) + \alpha_2^2 (1 - (1 - 10 \ln r_\tau) r_\tau^{10})], \quad (6)$$

$$\text{где } K = \frac{c(T_\tau - T_\Pi)}{L}; \quad \Theta_\Pi = \frac{T_\tau - T_\Pi}{T_\tau - T_c}. \quad (7)$$

Из формулы (6) можно найти величину безразмерного времени τ^0 и времени τ :

$$\tau^0 = \frac{M(2+K\Theta_\Pi)}{2K\Theta_\Pi}; \quad \tau = \frac{\rho c}{\lambda} l^2 \tau^0. \quad (8)$$

В момент окончания затвердевания $r_\tau = 0$, расход теплоты с охлаждаемого участка M_0 можно определить по формуле

$$M_0 = \frac{1}{4} (\alpha_1^2 + \alpha_2^2)$$

Для вычисления соответствующих значений координат X и Y в плоскости Z из (5) получим формулы с коэффициентами, приведенными в [5]:

$$\begin{cases} X = l(\alpha_1 r \cos \varphi + \alpha_2 r^5 \cos 5\varphi); \\ Y = l(\alpha_1 r \sin \varphi + \alpha_2 r^5 \sin 5\varphi). \end{cases} \quad (9)$$

Рассмотрим затвердевание шихты в палете размерами $0,7 \times 0,7$ м ($l = 0,35$ м); $T_\tau = 1200^\circ\text{C}$; $T_\Pi = 800^\circ\text{C}$; $T_c = 1600^\circ\text{C}$. Согласно [2], $\lambda = 0,437$ ккал/м·ч·град; $\rho = 1020$ кг/м³; $c = 0,53$ ккал/кг·град; $\frac{r_0}{l} = 0,5$ – отношение радиуса закругления к половине стороны квадрата; $\alpha_1 = 1,073$, $\alpha_2 = -0,095$ – коэффициенты, соответствующие значению $\frac{r_0}{l}$; h_1 – шаг изменения во времени фронта затвердевания твердой корки; критерий Био $Bi = \frac{\alpha^i l}{\lambda}$ (α^i – параметр, зависящий от конкретных условий теплотехнологического процесса и требующий теоретико-экспериментальной идентификации) является безразмерной характеристикой размера объекта.

Принимаем $\alpha^i = 1,1 \cdot 3,8(T_\Pi + T_C^i)$, $i = 1, 2, \dots, \frac{1}{h_1} - 1$;

$r_{\tau_0} = 1$ – положение фронта затвердевания при $\tau = 0$; h_2 – шаг по толщине твердой корки для фронта $r_\tau (r_j = 1 - jh_2, j = 0, 1, \dots, \frac{1}{h_2} - 1)$; $\varphi \in \left[0; \frac{\pi}{2}\right]$ – полярный угол.

Вычисляем значения M_i по формуле (6) для значений r_τ с учетом шага h_1 , затем находим K, Θ_Π по формулам (7), время τ_i^0 и τ_i по формулам (8). Для каждого значения τ_i распределение температуры с учетом шага h_2 ищем по формуле

$$T(x_j, y_j) = T_{\tau_j} + (T_{\tau_j} - T_\Pi) \frac{\ln \frac{r_j}{r_{\tau_j}}}{\ln \frac{r_{\tau_j}}{l}},$$

где x_j, y_j определяются по формулам (9) для r_j .

В момент окончания затвердевания $r_\tau = 0$, тогда имеем

$$M_0 = \frac{1}{4}(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) = 0,29; \quad \tau^0 = \frac{M_0(2 + K\Theta_\Pi)}{2K\Theta_\Pi} = 0,4 \cdot 10^{-4};$$

$$\tau = \frac{\rho c}{\lambda} l^2 \tau^0 = 27 \text{ мин.}$$

На основании вышеизложенного можно вычислить рекомендуемую скорость движения палет в агломерационной машине, которая составляет 1,1 м/мин. Это значение входит в рамки технологически заложенных скоростей движения от 0,415 до 1,25 м/мин и является оптимальным для полного затвердевания шихты.

Предложенная технология реализована на ОАО «Минский завод стройматериалов». Полузаводские технологические испытания проводились на двух составах сырья с целью получения сравнительных данных по качественным показателям продукции и технологическим параметрам спекания шихты. В качестве технологического топлива использовались уголь АШ, фрезерный торф и древесные опилки. Исходная влажность фрезерного торфа низинного типа составила 48 %, зольность 12 %, влажность опилок – 10 %. В состав шихты входило сырье месторождения «Фаниполь», характеристика которого приведена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики сырья месторождения «Фаниполь»

Наименование объекта испытаний, показатели, технические требования, характеристики и т. д.	Номер пункта ТНПА, устанавливающего требования к продукции	Номер пункта ТНПА, устанавливающего метод испытаний	Нормированное значение показателей, установленных в ТНПА	Фактическое значение показателей для каждого образца			Вывод о соответствии требованиям ТНПА
				Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	
Суглинок месторождения «Фаниполь»							
Содержание оксидов, проценты по массе	ГОСТ 9169-75	ГОСТ 2642-97 ГОСТ 3594-77 ГОСТ 21216-93 ГОСТ 2642.3-97 ГОСТ 2642.4-97 ГОСТ 2642.5-97 ГОСТ 2642.6-97 ГОСТ 2642.7-97 ГОСТ 2642.8-97 ГОСТ 3594.4-77 ГОСТ 2642.2-86 ГОСТ 21216.3-93					
SiO ₂				80,39	80,37	/ср. 80,38	Соответствует
Al ₂ O ₃			Менее 14	6,32	6,39	/ср. 6,355	Соответствует
Fe ₂ O ₃			1,5–3,0	2,40	2,43	/ср. 2,415	Соответствует
TiO ₂			Менее 1,0	0,38	0,31	/ср. 0,345	Соответствует
CaO				3,54	3,58	/ср. 3,56	Соответствует
MgO				1,59	1,61	/ср. 1,60	Соответствует
SO ₃				–	–	–	Соответствует
П.п.п				2,56	2,57	/ср. 2,565	Соответствует
Свободный SiO ₂			св. 25	57,37	57,34	/ср. 57,355	Соответствует

Определен оптимальный состав шихты по результатам предварительных исследований (табл. 2).

Следует отметить, что оптимальная влажность сырьевой смеси зависит от вида применяемого торфа. Высота укладываемого слоя для шихты с применением торфа не превышает 310 мм, что сказывается на скорости ее спекания. Разрежение при агломерации составляет 0,02 МПа.

Температура зажигания шихты 1000–1100 °С. Расход газа при этом не увеличивается. Вертикальная скорость спекания шихты составляет 4–6 мм/мин. Съем продукции по составам шихты – 180–210 кг/м² с учетом выхода недожога.

Аглопоритовый щебень и песок с применением фрезерного торфа и древесных опилок по показателям прочности и плотности соответствовал требованиям стандарта, согласно которому

по показателям насыпной плотности аглопоритовый щебень и песок относят: фракция 20–40 мм и 10–20 мм к марке 600; фракция 5–10 мм к марке 700; фракция менее 5 мм к маркам 1000–1100. По показателям прочности аглопоритовый щебень относится: фракция 20–40 мм и 10–20 мм к марке 75; фракция 5–10 мм к марке 200–250. Полученный аглопоритовый щебень и песок практически по всем качественным показателям близки показателям продукции с использованием обычной шихты. Представляет также практический интерес использование в технологии увеличения крупности частиц (фракционного состава) торфа до 10 мм с целью повышения его массы, что вызовет повышение температуры в спекаемом слое, изменение режимов полукоксования торфа и параметров агломерационного процесса, в частности выхода недожога.

Таблица 2. Оптимальный состав шихты по результатам предварительных исследований

Компонент	Состав шихты без добавки, мас. %	Влажность компонентов шихты, %	
Суглинок	88–89	18,3	18,5
Уголь	7–8	10,5	11,2
Торф фрезерный	2–3	49,66	46,12
Возврат	10	–	–

Большое значение имеет также изучение качественных показателей аглопорита, спекаемого с технологическим топливом с различным содержанием летучих веществ, что может увеличить выход недожога и повлиять на экологическую обстановку территории.

Сейчас в республике идет развитие исследований по экономии технологического топлива и замене дефицитного и дорогостоящего на местные виды, такие, как различные виды торфа, сапропель, отходы торфобрикетного производства, которые имеют высокую теплоту горения и содержащие значительное количество органических веществ. При использовании силикатного сырья или утилизации вскрышных пород в агломерации замена импортных видов топлива на местные является актуальной проблемой, а использование топлива с низкой теплотворной способностью требует разработки новых способов по обогащению, усреднению и определению оптимальных сырьевых составов с целью более эффективного их сжигания в агломерируемом слое шихты.

Анализ проведенных исследований показывает, что по мере уменьшения крупности топливных частиц, повышается восстановительный

потенциал продуктов горения и снижается высота окислительной зоны. Это связано с уменьшением степени использования углерода, а также с увеличением абсолютной температуры в зоне горения, что приводит к снижению температурного уровня процесса. Следует отметить: степень углефикации топлива влияет на возможную скорость спекания шихты, что отражается на скорости горения топлива.

Работа действующих аглопоритовых предприятий, которые применяют в качестве технологического топлива низкосортные угли, позволяет рекомендовать проведение исследований по разработке технологических параметров производства аглопорита при замене угля на местные виды топлива (фрезерный торф – топливный, для компостирования, топливные дробленые брикеты, древесные опилки, сапропель и др.). Необходимо отметить, что сапропелевые коллоидные отложения содержатся во многих пресноводных водоемах Беларуси и имеют до 93 % органических веществ. Сейчас их добыча носит промышленный характер, и применение сапропелей возможно не только в сельском хозяйстве, но и в производстве легких заполнителей для аглопорита.

Литература

1. **Воронова Н. П.** Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств / Н. П. Воронова. Минск, 2009.
2. **Воронова Н. П.** Математическое моделирование энергосберегающих режимов нагрева, сушки и термообработки. Минск, 2006.
3. Промышленные теплотехнологии: Моделирование нелинейных процессов / В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова, А. П. Несенчук. Минск, 2000.
4. Строительные машины: справочник: В 2 т. Т. 2: Оборудование для производства строительных материалов и изделий / В. Н. Лямин, М. Н. Горбовец и др. М., 1991.
5. **Фильчаков П. Ф.** Приближенные методы конформных отображений. Киев, 1964.

Белорусский национальный технический университет

Поступила в редакцию 25.09.2011

Н. П. Воронова

ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ РЕЖИМА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ШИХТЫ ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ

Разработана методика инженерного расчета режима затвердевания шихты при агломерации в зависимости от того, на каком исходном сырье работает агломерационная машина и каковы диапазоны ее производительности. С помощью разработанной методики оптимизированы необходимые при агломерации параметры: площадь спекания, длина ленты агломерационной машины. На основании математического моделирования процессов охлаждения в методических печах с толкающим приводом, содержащего сопряженную систему уравнений, описывающих как изменение температур в сечении твердой корки шихты, так и тепловой баланс с учетом фазового перехода, получены формулы для нахождения времени окончания процесса затвердевания. С целью уточнения теплофизических характеристик, выбора оптимальных параметров технологического процесса, форма объекта рассматривалась в разрезе квадратного сечения с закруглениями, в соответствии с формой насыпной шихты в палете. Выполненные расчеты, согласно предложенной методике, позволили вычислить рекомендуемую скорость движения палет в агломерационной машине СМ-961, которая согласуется с технологическими требованиями и является оптимальной для полного затвердевания шихты. Технология реализована на практике. В результате ее эксплуатации установлено, что замена угля в качестве технологического топлива на местные виды сырья позволяет получить качественный продукт при значительной экономии. На основе имеющихся опытно-экспериментальных данных с привлечением фактических материалов, касающихся производства аглопорита из традиционного сырья, выполнена сравнительная оценка новой технологической схемы с использованием торфа и древесных опилок.

N. P. Voronova

ENGINEERING CALCULATION MODE OF SOLIDIFICATION OF THE CHARGE IN SINTERING

The technique of engineering calculation of solidification mode in the agglomeration of the charge depending on what the raw material sintering machine is working and what are the ranges of its performance. With the help of the developed methods the required sintering parameters were optimized: sintering area, the tape length of the sinter machine. On the basis of mathematical modeling of cooling in the reheat furnaces with pushing the drive containing the conjugated system of equations describing the change in temperature of the charge section of the solid crust and the heat balance equation, taking into account the phase transition the formulas to find the end of the solidification process were obtained. In order to clarify the thermal characteristics, selection of optimal process parameters, the shape of the object was viewed in the context of a rounded square, in accordance with the form of bulk charge in the pallet. The calculations in accordance with the proposed method allowed us to compute the recommended speed of pallets in a sintering machine CM-961, which is consistent with the technological requirements and is optimal for complete solidification of the charge. The technology is implemented in practice. As a result of its operation it was found that the replacement of coal as a process fuel for local raw materials makes it possible to get a quality product at substantial savings. Based on available test and experimental data with assistance of the factual material relating to the production of traditional raw materials aglopore, a comparative evaluation of new technological schemes using peat and wood chips was done.

УДК 551.340+624.131

К. А. Агутин, Г. П. Бровка, И. И. Романенко

УСТАНОВКА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КРИОГЕННОГО ПУЧЕНИЯ И ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТАХ

Описано новое устройство и методика комплексного исследования криогенного пучения и процессов тепло- и массопереноса в промерзающих грунтах.

Согласно требованиям ГОСТ 28622-90, для определения степени пучинистости грунтов используются образцы диаметром 100 и высотой 130–150 мм. При этом не предусматриваются, кроме боковой тепловой изоляции, охранные элементы по предотвращению боковых утечек тепла. Указанное соотношение диаметра и высоты неизбежно приводит к боковым утечкам, чтоискажает одномерное промерзание образца. К тому же, трудоемкость и длительность опыта предопределяют необходимость более рационального извлечения и обработки информации по процессам тепломассопереноса, происходящим при промерзании достаточно больших образцов грунта. Это можно сделать, создав дополнительные элементы контроля и регулирования температуры и тепловых потоков в устройстве, аналогичном предлагаемому в ГОСТ 28622-90. С этой целью в лаборатории ФХМПДС разработано новое устройство и методика комплексного исследования криогенного пучения и процессов тепло- и массопереноса в промерзающих грунтах.

Конструкция устройства для определения степени пучинистости грунтов. Основными элементами устройства (рис. 1) являются теплообменники 3 и 4 с нагревательными элементами, между которыми в разъемной обойме расположается исследуемый образец грунта 1. С каждым теплообменником жестко скреплен тепловой экран из стальной трубы. Тепловые экраны верхнего и нижнего теплообменников с минимальным зазором заходят друг в друга. В центральных частях экранов расположены проволочные нагреватели. Для контроля температуры теплообменников и верхней части экрана в соответствующие точки помещены спаи медьюконстантановых термопар. На уровне расположения спая термопары верхнего экрана (35 мм от поверхности теплообменника) между экраном и обоймой расположен датчик разности температуры в виде батареи медьюконстантановых термопар.

Система указанных нагревателей и датчиков температуры позволяет вести контроль и регулирование температурного режима промораживания образца. При этом используется четырехканальный компьютерный порт В-381 и управляемые аналоговыми сигналами источники питания типа Б5-45А или аналогичные.

Система контроля и регулирования температурного режима промораживания образца функционирует следующим образом.

Температура регулирования верхнего теплообменника настраивается на -4°C , а нижнего на $+1^{\circ}\text{C}$ и поддерживается соответствующей мощностью нагревателей, управляемых с помощью компьютерного порта и блока питания. Нагреватель нижнего экрана включен последовательно с нагревателем нижнего теплообменника и обеспечивает в нижней части образца температуру $+1\text{--}0^{\circ}\text{C}$. Нагреватель верхнего экрана управляетяется сигналом датчика разности температур, экрана и обоймы образца и обеспечивает минимальную разность температуры в указанных точках. Благодаря этому температура, измеряемая термопарой, расположенной на уровне местоположения датчика разности температур будет соответствовать температуре образца на таком же уровне. Это обеспечивает контроль температуры в образце грунта, что позволяет с необходимой точностью фиксировать время промерзания образца на глубину, соответствующую расположению датчика разности температур, а также по градиенту температуры в верхней части образца оценивать местоположение фронта промерзания в последующие моменты времени. Кроме того, поддержание минимальной разности температуры на теплоизоляции боковой поверхности образца обеспечивает строго одномерное его промерзание.

Нижняя часть образца контактирует с кюветой 12 заполненной влажным песком, постоянная влажность которого обеспечивается системой водоподпитки 9. Система водоподпитки представляет собой закрытую керамическую трубку, гидравлически связанную с горизонтально расположенной бюреткой, заполненной водой.

Вертикальное нагружение образца осуществляется с помощью пневматического пресса, созданного на базе пневмоцилиндра и баллона со сжатым воздухом. Пневмоцилиндр располагается под нижним теплообменником и шток пневмоцилиндра через шаровое соединение упирается в его центр. Данная система обеспечивает постоянную уплотняющую нагрузку образца от 0,02 до 0,15 МПа в зависимости от давления воздуха в баллоне, измеряемого с помощью манометра. С учетом соотношения диаметров пневмоцилиндра и образца коэффициент передачи уплот-

няющего давления равен 0,25, т. е. при давлении воздуха в баллоне 0,2 МПа нагрузка на образец будет составлять 0,05 МПа.

Для измерения вертикальной деформации пространство в пневмоцилиндре над поршнем заполнено машинным маслом и с помощью гибкой трубы сообщается с измерительной бюреткой. При перемещении штока на 0,1 мм изменение объема масла в бюретке составляет 0,2 см³, что соответствует одному делению шкалы бюретки. Таким способом обеспечивается измерение вертикальной деформации образца с точностью 0,1 мм.

Боковая поверхность устройства ограничена теплоизоляционным кожухом 13 из полиэтиленовой трубы, состоящим из двух частей. Одна часть скреплена с верхним теплообменником, а вторая с нижним. Зазоры между теплоизоляционным кожухом и тепловыми экранами, между

тепловыми экранами и обоймой заполнены монтажной пеной и пенопластом 15, а в местах стыка экранов заполнены легкодеформируемым поролоном 14. Вся конструкция устройства стянута четырьмя латунными шпильками. Конструкция выполнена таким образом, что состоит из двух частей, каждая из которых жестко связана с одним из теплообменников. При этом верхняя часть может приближаться к нижней, сдавливая образец в обойме. Габариты устройства в сборе составляют 0,27 м в диаметре и 0,4 м по высоте. Устройство помещается в терmostатируемую холодильную камеру, снабженную регулировкой температуры в диапазоне (-5)–(-15) °С. Провода термопар, провода питания нагревателей, трубы подачи воздуха и вывода масла, а также трубка водоподпитки выводятся за пределы терmostатируемой камеры.

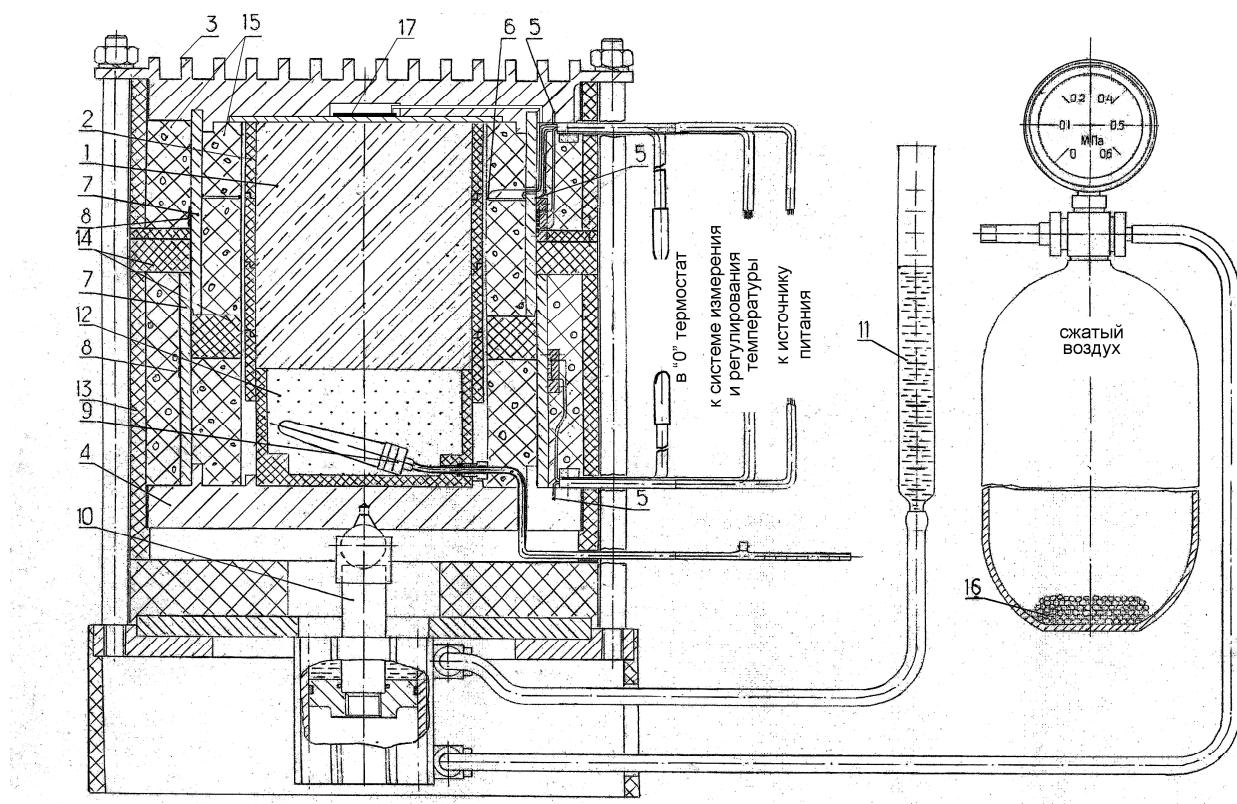


Рис. 1. Устройство для определения степени пучинистости грунтов:

1 – образец грунта; 2 – обойма разъемная; 3 – теплообменник верхний с нагревателем; 4 – теплообменник нижний с нагревателем; 5 – датчики температуры; 6 – датчик разности температур; 7 – тепловые экраны; 8 – нагреватели тепловых экранов; 9 – система водоподпитки образца; 10 – механизм нагружения образца; 11 – система измерения перемещений; 12 – кювета с песком; 13 – кожух теплоизоляционный; 14 – теплоизоляция деформирующаяся; 15 – пена монтажная; 16 – баллон со сжатым воздухом и осушителем воздуха; 17 – датчик теплового потока

Кроме указанных на рис. 1 элементов устройства, в последней модификации устройство снабжено дополнительными элементами. В центральную часть верхнего теплообменника встро-

ен оригинальный датчик теплового потока 17. Для интенсификации теплообмена на верхнем теплообменнике над ним установлен вентилятор мощностью порядка 3 Вт (от компьютерного бло-

ка питания), который питается напряжением постоянного тока 5–12 В. В месте крепления пневмоцилиндра расположен дополнительный проволочный нагреватель, который обеспечивает его положительную температуру для предотвращения прихватывания поршня в случае замерзания конденсатной влаги. На трубку системы подпитки намотан проволочный нагреватель, предотвращающий замерзание подаваемой в систему водоподпитки влаги.

Для управления температурным режимом проведения опыта в программируемой среде *Delphi* разработана специальная программа *Rebound*. Основное окно интерфейса этой программы представлено на рис. 2. Параметры температурного режима вводятся в окна ввода данных, обозначенных соответственно регулируемым объектам «Верхний теплообменник», «Нижний теплообменник», «Вентилятор» и «Канал 4 (градиент)». Следует пояснить, что последнее окно отвечает разности температуры в слое теплоизоляции на уровне контрольной точки, расположенной на расстоянии 35 мм от охлаждаемой поверхности.

Система регулирования температуры организована таким образом, что температура тепло-

обменников и разность температуры в слое теплоизоляции в контрольной точке поддерживаются путем подачи аналоговых сигналов с соответствующими каналов ЦАП на управляемые источники,итающие нагреватели регулируемых объектов. Вентилятор управляет позиционно выбором одной из трех позиций «0 %», «50 %» и «100 %». При позиции «0 %» вентилятор отключен, при позиции «50 %» на него подается напряжение 5 В, а при позиции «100 %» – 12 В, чем обеспечивается необходимая интенсивность конвективного теплообмена.

В окнах (рис. 2) «Тарировочные коэффициенты» введены градуировочные параметры датчиков температуры.

На закладке «Таблица данных» выводятся аналоговые сигналы датчиков температуры и соответствующие им значения температуры верхнего теплообменника, нижнего теплообменника, температуры экрана на уровне контрольной точки и разности температуры в слое теплоизоляции на этом же уровне. На закладке «График» выводятся текущие графики температуры, представленной в таблице данных.

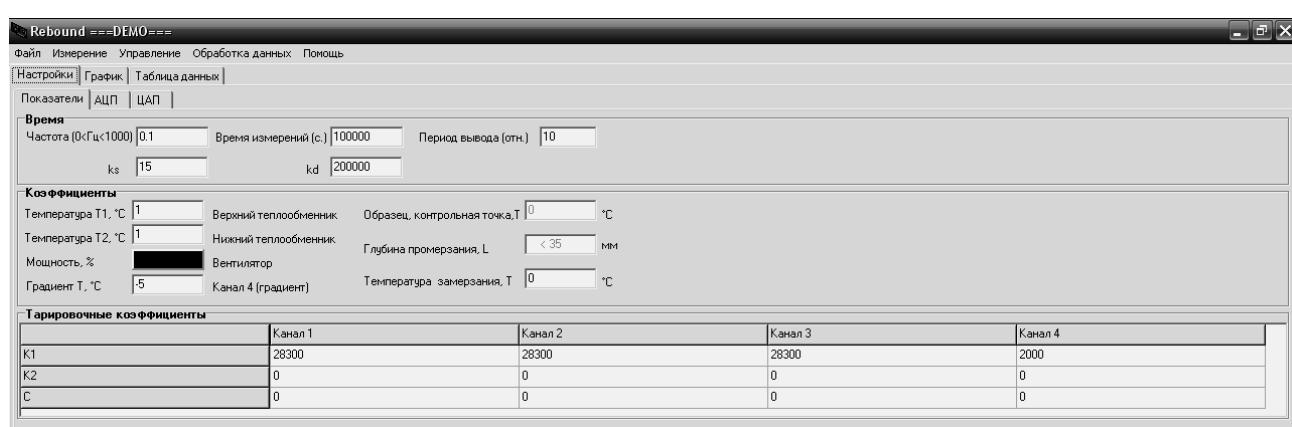


Рис. 2. Интерфейс программы. Закладка «Настройки/Показатели»

Технические характеристики

- | | |
|--|---------------|
| 1. Диаметр образца | 100 мм |
| 2. Высота образца | 130–150 мм |
| 3. Гидростатическая уплотняющая нагрузка | 0,02–0,15 МПа |
| 4. Погрешность измерения деформации | ± 0,1 мм |
| 5. Температура термостатирования верхнего теплообменника | (−1)–(−10) °C |
| 6. Температура термостатирования нижнего теплообменника | (+1)–(+10) °C |
| 7. Точность измерения температуры | ±0,05 °C |

Методика проведения экспериментов по определению степени пучинистости грунтов. Отбор и подготовка образцов грунта осуществляется в соответствии с ГОСТ 28622-90 п. 2.1–2.7.

Образец грунта в обойме, смазанной внутри тонким слоем технического вазелина, помещают в установку на увлажненный кварцевый

песок кюветы 12. Устанавливают верхнюю часть устройства, скрепленную с верхним теплообменником, на латунные шпильки поверх образца и фиксируют с помощью гаек. После того с помощью газового компрессора или насоса создают в баллоне давление порядка 0,05–0,1 МПа. При этом шток системы нагружения выдвигается и

поднимает нижнюю часть устройства с нижним теплообменником до соприкосновения верхнего торца образца с верхним теплообменником. Перемещение нижней части устройства можно наблюдать визуально по изменению зазоров с деформирующейся теплоизоляцией на боковой поверхности теплоизоляционного кожуха, а также по подъему уровня масла в системе измерения перемещений. Факт соприкосновения верхнего торца образца с верхним теплообменником устанавливается по остановке подъема уровня масла на отметке ниже максимально допустимого уровня, соответствующего минимальному расстоянию между теплообменниками при пустой обойме. Если остановка произошла на указанной отметке, то необходимо снять верхний теплообменник и добавить грунта в обойму до необходимой величины. Уплотнив образец, давление в баллоне сбрасывают нажатием на ниппель до величины, заданной режимом испытаний.

Затем устройство с образцом помещают в термостатируемую камеру и термостатируют при исходной температуре $+1^{\circ}\text{C}$ в течение 5 и более часов до выхода температуры во всех фиксируемых точках на указанное значение. Удобнее всего начинать процесс исходного термостатирования в конце рабочего дня, предшествующего дню начала проведения опыта.

Непосредственно перед началом опыта понижают температуру в термостатируемой камере до величины $(-8) \text{--} (-10)^{\circ}\text{C}$ при включенной системе регулирования температуры с установкой параметров регулирования на верхнем и нижнем теплообменниках $+1$, а на экране «0» и выключенном вентиляторе. На нагреватели пневмоцилиндра и системы подпитки подается напряжение от портативного источника питания 12 В.

После достижения необходимого значения температуры в камере включают вентилятор, устанавливают параметры регулировки для верхнего теплообменника $-(-4)$, экрана $-(-3)$, нижнего теплообменника $-(+1)$ и наблюдают за изменением температуры. При этом на верхнем теплообменнике она начнет резко понижаться, на нижнем должна оставаться прежней $(+1 \pm 0,1)^{\circ}\text{C}$, температура экрана несколько понизится и возрастет в отрицательной области разность температуры экрана и контрольной точки.

После достижения на верхнем теплообменнике температуры -3°C параметр регулировки экрана установить на «0».

Затем фиксируют исходные положения уровня масла в системе измерения перемещений и воды в измерительной бюретке системы водоподпитки и далее с интервалом в 1–2 ч записывают изменившиеся значения указанных уровней.

На закладке «Настройки/Показатели» интерфейса программы наблюдают в окнах вывода «Образец, контрольная точка» и «Глубина промерзания» значения температуры в контрольной

точке на глубине 35 мм и расчетную глубину промерзания с учетом температуры начала замерзания воды в грунте, предварительно введенной в окне ввода «Температура замерзания». Это позволяет, в отличие от методики, описанной в ГОСТ 28622-90, более точно определять время прекращения опыта.

Опыт прекращают при достижении расчетной глубины промерзания значения порядка 90 мм. Следует отметить, что фактическая величина глубины промерзания может быть на 10 % больше расчетной за счет нелинейности распределения температуры в мерзлой зоне образца. Для прекращения опыта с помощью программы выключают вентилятор, установив в окне вентилятора параметров позицию «0 %», а в окне верхнего теплообменника $+1^{\circ}\text{C}$. После выхода температуры верхнего теплообменника на положительное значение программу останавливают, сохраняют данные в файле записи данных, все источники выключают и снимают верхний теплообменник.

Сразу после окончания испытания образец извлекают из обоймы, разрезают вдоль вертикальной оси, измеряют фактическую толщину промерзшего слоя (за исключением зоны пластично-мерзлого грунта) и описывают его криогенную текстуру.

Расчет вертикальной деформации образца в конце опыта определяют по формуле

$$h_f = (V_{\text{нач}} - V_{\text{кон}}) / 20, \quad (1)$$

где h_f – вертикальная деформация образца грунта в конце испытания, мм; $V_{\text{нач}}$ – начальный отсчет в бюретке; $V_{\text{кон}}$ – конечный отсчет в бюретке.

Относительную деформацию морозного пучения образца грунта ε_{fh} вычисляют с точностью 0,01 по формуле

$$\varepsilon_{fh} = h_f / d_i, \quad (2)$$

где h_f – вертикальная деформация образца грунта в конце испытания, мм; d_i – фактическая толщина промерзшего слоя образца грунта, мм.

Методика расчета параметров массопереноса. Разделка мерзлых образцов осуществляется следующим образом. Мерзлая и талая зоны разрезаются через 5–10 мм параллельно фронту промерзания и производится послойное определение влагосодержания и плотности скелета грунта. Влагосодержание определяется методом термостатной сушки, плотность скелета – методом гидростатического взвешивания.

При расчете параметров массопереноса и пучения используются формулы, полученные на основе математической модели тепло- и массопереноса при промерзании грунта [1]:

$$K_m = \frac{\frac{1}{2} \left(W|_{x=\xi-0} - W|_{x=\xi+0} \right) \rho_{ck} \frac{\xi}{\tau}}{\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=\xi-0}}; \quad (3)$$

$$a_w = \frac{\frac{1}{2} \left(W|_{x=\xi-0} - W|_{x=\xi+0} \right) \rho_{ck} \frac{\xi}{\tau}}{\left. \frac{\partial W}{\partial x} \right|_{x=\xi+0}}, \quad (4)$$

где K_m – коэффициент термовлагопроводности мерзлой зоны; $W|_{x=\xi-0}$ – влагосодержание в мерзлой зоне на фронте промерзания; $W|_{x=\xi+0}$ – влагосодержание в талой зоне на фронте промерзания; ρ_{ck} – плотность скелета грунта; ξ – толщина промерзшей зоны; τ – время промораживания;

гра
д
– градиент температуры в мерзлой зоне на фронте промерзания; a_w – коэффициент диффузии влаги в талой зоне; $\frac{\partial W}{\partial x}|_{x=\xi+0}$ – градиент влагосодержания в талой зоне на фронте промерзания.

Численные значения градиентов температуры и влагосодержания, входящие в формулы (3, 4), определяются методом графического дифференцирования на основании распределения температуры и влагосодержания.

Кроме приведенных параметров массообмена и пучения, по данным о температурном режиме промораживания образца и кинетике теплового потока на охлаждаемой поверхности по специальной программе можно рассчитать коэффициент теплопроводности, эффективную теплоемкость и теплоту фазового перехода исследуемого грунта.

Литература

- Бровка Г. П. Тепло- и массоперенос в природных дисперсных системах при промерзании. Минск, 1991.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 3.10.2011

K. A. Agutin, G. P. Brovka, I. I. Romanenko

УСТАНОВКА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КРИОГЕННОГО ПУЧЕНИЯ И ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТАХ

В соответствии с требованиями ГОСТ 28622-90 для определения степени пучинистости грунтов разработано устройство, которое в конкретном исполнении имеет ряд особенностей, расширяющих его функциональные возможности и позволяющих более строго контролировать режим проведения опытов по определению степени пучинистости грунтов. Это обеспечивается, прежде всего, наличием охранной тепловой оболочки, уменьшающей боковой теплообмен, и возможностью контроля распределения температуры по высоте образца, а также теплового потока на охлаждаемой поверхности. Устройство может использоваться для определения характеристик тепло- и влагопереноса в промерзающих грунтах.

K. A. Agutin, G. P. Brovka, I. I. Romanenko

INSTALLATION FOR COMPLEX RESEARCH OF CRYOGENIC SWELLING AND PROCESSES OF HEAT- AND MASS TRANSFER IN FREEZING-THROUGH GROUNDS

According to STST 28622-90 specifications, a device was developed to define a degree of grounds swelling ability, which in concrete design has a number of features expanding its functionality and allowing to supervise more strictly a mode of carrying out of tests by degree definition of grounds swelling ability. It is provided, first of all, with presence of the security thermal cover reducing lateral heat exchange, and a possibility to control a distribution of temperature on height of the sample, and also a thermal stream on a cooled surface. The device can be used to determine characteristics of heat- and moisture transfer in freezing-through grounds.

УДК 658.567(476)

А. В. Кудельский, В. П. Самодуров

К ВОПРОСУ О ЗАХОРОНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ*

Поиск благоприятных для захоронения радиоактивных отходов является важной международной проблемой [1–3]. Ранее проведенными исследованиями в качестве наиболее перспективных мест для подземного захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) в геологических формациях Беларуси указывались горные породы Белорусской антеклизы, соляные диапирсы и палыгорскитсодержащие глинистые породы Припятского прогиба [5]. Как следующий шаг в направлении решений проблемы в статье приводятся более детальные геологические оценки месторождения палыгорскитовых глин.

Палыгорскит – это цеолитоподобный глинистый минерал, хорошо известный как природный сорбент наряду с сепиолитом и монтмориллонитом. Палыгорскитсодержащая геологическая формация широко распространена на юге Беларуси в относительно малонаселенном районе. Залегает на глубинах 90–120 м, ее мощность достигает 250 м. В литологическом разрезе верхнедевонской толщи палыгорскитовые глины связаны с верхами мергелистой серии, погружающейся в направлении с запада на восток под более молодые образования.

Центральная зона наиболее пригодна для создания системы ПЗРО, здесь нет песчаных горизонтов в палыгорскитсодержащих глинах, в связи с чем водопроницаемость последних исчезающа мала. В подошве палыгорскитсодержащей толщи повсеместно прослеживается слой вулканических туфов. В целом палыгорскитсодержащая глинистая толща верхнесолевых девонских отложений характеризуется хорошими условиями для создания ПЗРО.

Введение. В настоящее время в Беларуси нет ядерно-энергетических комплексов. Однако поиск геологических условий (формаций, структур и пр.), благоприятных для захоронения радиоактивных отходов, является важной задачей, поскольку в будущем планируется строительство подобных комплексов.

Основные проблемы, касающиеся захоронения радиоактивных отходов и поисков наиболее перспективных мест для захоронения отходов среднеактивных (*MLI*) и высокоактивных (*HЛI*), в Беларуси обсуждались ранее [4, 5]. В качестве наиболее перспективных для ПЗРО рассматривались гранитогнейсовые породы кристаллического фундамента, соляные диапирсы и палыгорскитсодержащие глинистые породы Припятского прогиба. Более детальные характеристики палыгорскитовой толщи как объекта для размещения глубокорасположенного ПЗРО обсуждаются ниже.

Палыгорскит является цеолитоподобным глинистым минералом, широко используемым для ионно-молекулярной очистки жидкостей и газов. В этой связи верхнедевонские седиментационные образования Припятского прогиба по своим характеристикам могут использоваться в природоохранной деятельности. Местоположение зоны распространения палыгорскита, литологостратиграфический разрез, физико-химические параметры пород и глинистых минералов, достаточные для создания комплекса ПЗРО мощности

палыгорскитовых глин – все это составляет основной объект нашего исследования.

Местоположение палыгорскитсодержащих отложений. Припятский прогиб расположен на юге Беларуси (рис. 1). Палыгорскитовая зона имеет в длину 120 км, в ширину около 40 км, общая площадь ее распространения достигает 2 000 км², мощность палыгорскитсодержащих отложений до 250 м. Расположена зона на северо-востоке прогиба, в пределах Старобинского солового поля.

Геологический разрез. Верхнедевонский верхнесолевой геологический разрез представлен тремя литологическими сериями: подстилающая сульфатно-мергельная толща, залегающая на сольсодержащих седиментационных породах, средняя доломитомергельная серия и верхняя мергельная толща. В некоторых местах верхнедевонские образования перекрываются каменноугольными отложениями. Мергели, доломиты, сульфаты (гипс и ангидрит), глина, карбонатные и горючие сланцы – главные составляющие геологического разреза, среди которых преобладают мергели (более 50 %). Важно подчеркнуть отсутствие песчаных прослоев в разрезе, что определяет чрезвычайно низкую водопроницаемость горных пород. Глинистые минералы в составе последних представлены иллитом 1M, палыгорскитом и минералами группы хлоритов. Кроме того, иллит 1M наблюдается и в составе вулканических туфов, подстилающих

* Русский перевод статьи: Kudelsky A. V., Samodurov V. P. Progress towards a deep geological Repository in the Republic of Belarus // Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Fourth Worldwide Review. University of California, Berkeley. 2006. P. 15–18.

мергельную толщу (рис. 2). Существует некоторая корреляция между литологическим составом пород и распределением глинистых минералов. Подстилающая глинистая подзона I (мощность 100–180 м) содержит иллит 1М-хлоритовую ассоциацию и связана с сульфатно-мергельной литологической серией. Хлориты обычны в подзо-

не I, и их содержание здесь варьирует от 18 до 80 %. Вышезалегающей глинистой подзоне II свойственны достаточно редкие проявления хлоритов при общем доминировании иллита 1М. Она связана с интервалом постепенного перехода литологической сульфатно-мергельной серии в доломитомергельную серию.

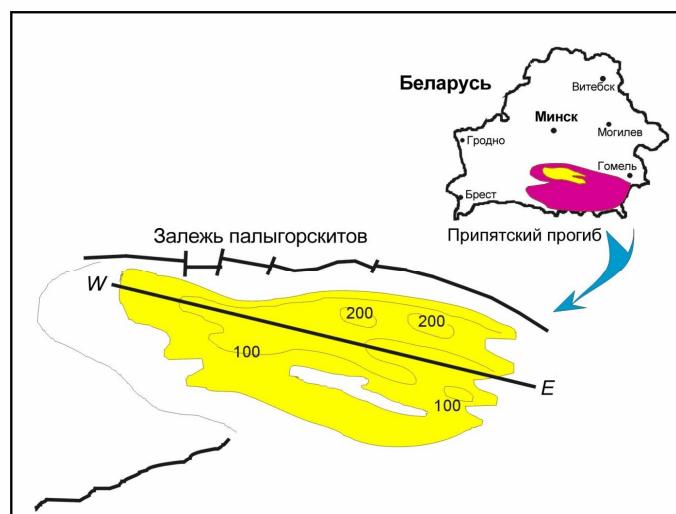


Рис. 1. Припятский прогиб и зона распространения палыгорскита

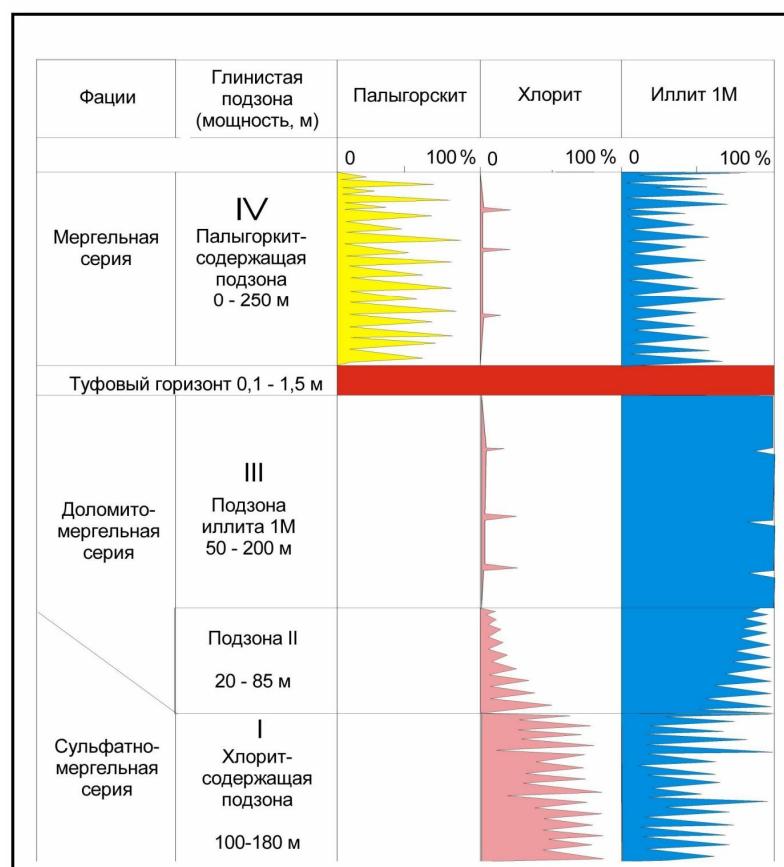


Рис. 2. Литологические серии и глинистые подзоны по геологическому профилю

Связанная с доломитомергельной серией глинистая подзона III содержит только иллит 1M. Вышезалегающая глинистая подзона IV является палыгорскитсодержащей, но, кроме палыгорскита, в ней отмечаются иллит 1M и минералы группы хлорита.

Глинистые минералы. Иллит (гидромусковит) широко распространен в разрезе осадочных пород территории и может быть охарактеризован осредненной кристаллохимической формулой

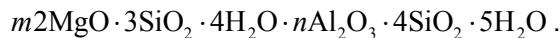


Хлоритоподобные кристаллохимические образования представляют собой неупорядоченные смешанослойные хлорито-смектитовые глинистые минералы со следующей осредненной формулой



Иллит и хлорит являются силикатами с изометрической слоистоподобной микрокристаллической структурой.

Палыгорскит – это магнезиальный алюмо-силикатный глинистый минерал следующего (переменного) состава



При соотношении $\text{Al} : \text{Mg} = 1:1$ минералы называют палыгорскитами, бедные по содержанию Al_2O_3 – пилолитами (из них, например, сепиолит $2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Палыгорскит отличается волокнистой микрокристаллической морфологией и цепочечной структурой. Это цеолитоподобный минерал с микроканалами $4\text{\AA} \times 6,5\text{\AA}$ в его структуре, что определяет возможность протекания в них процессов ионной и молекулярной абсорбции. Минерал широко используется для очистки газов и жидкостей в различных технологических процессах. Палыгорскитовые глины хорошо известны как лучшие линейные барьеры и вмещающие среды при захоронении высокотоксичных отходов, в том числе отходов ядерно-энергетических комплексов.

Описание палыгорскитовой залежи. Как уже упоминалось, палыгорскитовая залежь приурочена к северо-восточной части Припятского прогиба. Глубина ее залегания и мощность изменяются с запада на восток (рис. 3). Кровля палыгорскитовых глин залегает на глубинах 90–120 м, подошва толщи – в пределах от 100 до 850 м. В зоне палыгорскитов выделяются четыре типа геологических разрезов (профилей).

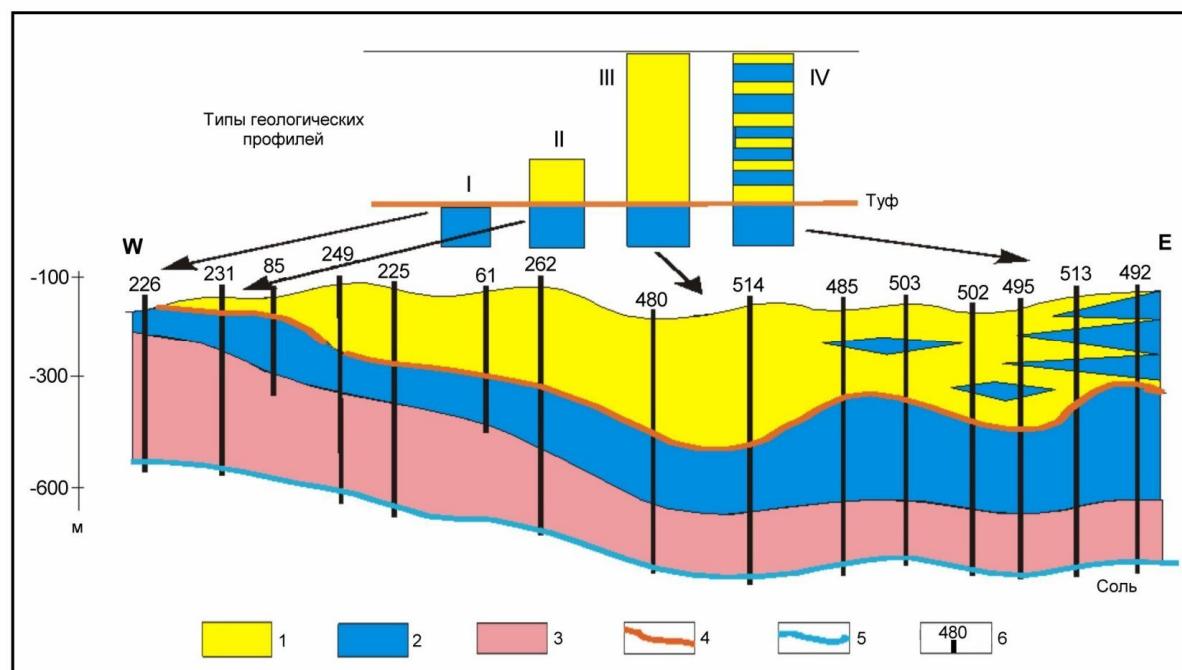


Рис. 3. Геологический разрез залежи палыгорскитов:
1 – палыгорскит; 2 – иллит 1M; 3 – хлориты, 4 – туф; 5 – кровля соляной толщи; 6 – номера скважин

На западе палыгорситовая толща эродирована, во втором типе разрезов мощность продуктивной части толщи варьирует от 30 до 50 м, возрастая до 170–250 м в третьем типе разрезов (см. рис. 3). Широкой изменчивостью мощностей отличается восточная часть палыгорситовой толщи, где концентрация (содержание) палыгорсита варьирует от 0 до 70 % в маломощных пластах в связи с условиями седиментации. Отсюда второй и третий тип геологических профилей характеризуют участки палыгорситовой залежи, наиболее благоприятные для подземного захоронения радиоактивных отходов.

Известно несколько слоев вулканических туфов в разрезе верхнесолевой девонской формации. Наиболее выдержаный из них залегает в подошве палыгорситовой толщи (см. рис. 3), что свидетельствует о влиянии вулканизма на ее формирование. Слой туфа прослеживается по всей территории распространения палыгорситов. В разрезе верхнедевонской формации материал вулканических пеплов (туфов) трансформирован в бентонитоподобные глинистые образо-

вания. Однако в их составе нет смектитов, только иллит 1М диоктаэдрической структуры с иглоподобными микрокристаллами. Слой туфа также отличается специфической структурой. Его подошва ясно выражена, а верхняя связана постепенными переходами к перекрывающим туфы мергелям. В целом слой туфа представляет собой хороший водоупор, который может использоваться как природный линейный барьер в случае радиоактивных протечек.

Благоприятные места для ПЗРО могут быть определены в центральной части палыгорситового массива горных пород на глубинах 100–120 м. Палыгорсит характеризуется равномерным и устойчивым распределением по большинству геологических профилей. Основные вмещающие породы представлены (рис. 4) глинистыми мергелями с содержанием кальцита 20–40 %, палыгорсита 40–60 % и иллита 1М 20–50 %. В их разрезе нет песчаных слоев, породы водонепроницаемы.

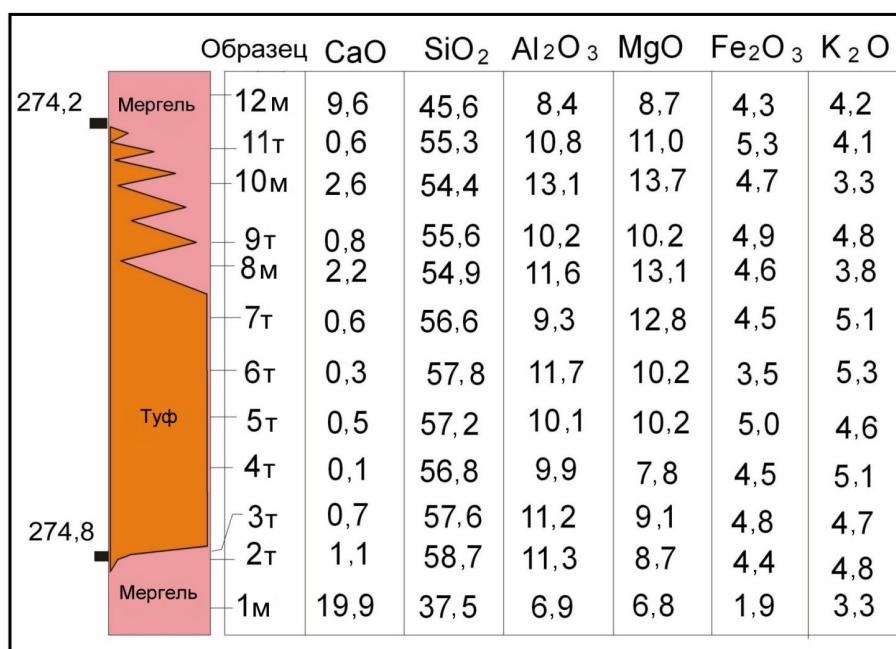


Рис. 4. Характеристика (содержание оксидов, %) вулканического туфа по разрезу скважины 64

Выводы. Глинистая верхнедевонская толща может с успехом использоваться для размещения ПЗРО. Оптимальные глубины для его строительства и функционирования 100–120 м. Мергели являются превалирующей породой с

содержанием палыгорсита 40–60 %. Представляя собой целикитоподобный материал, палыгорситы в их пластовом залегании могут использоваться для размещения высокотехнологических ПЗРО.

Литература

1. Geological Problems in Radioactive Waste Isolation. Second Worldwide Review. Ed. by P. A. Witherspoon // University of California. Berkeley, California 94720 USA. 1996. 270 p.
2. Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Third Worldwide Review. Ed. by P. A. Witherspoon and G. S. Bodvarson // University of California. Berkeley, California 94720 USA. 2001. 333 p.
3. Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Fourth Worldwide Review. Ed. by P. A. Witherspoon and G. S. Bodvarson // University of California. Berkeley, California 94720 USA. 2006. 283 p.
4. **Kudelsky A. V., Yasoveyev M. G.** Geological and hydrogeological preconditions for underground burial of radioactive waste. Nuclear Energy, 70(5). Pp. 310–314 (in Russian), 1991.
5. **Kudelsky A. V.** Geological Problems in Radioactive Waste Isolation in Belarus: Third Worldwide Review. Berkeley Lab Report, Berkeley, LBNL-49767, California, 2001. Pp. 39–46.

**Институт природопользования НАН Беларуси,
Белорусский государственный университет**

Поступила в редакцию 5.09.2011

A. В. Кудельский, В. П. Самодуров

**К ВОПРОСУ О ЗАХОРОНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ
В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

В настоящее время в Беларуси нет ядерно-энергетических комплексов, хотя их строительство планируется в будущем. В качестве перспективных для подземного захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) рассматриваются палыгорскитовые глины Припятского прогиба.

***A. V. Kudelsky, V. P. Samodurov
GEOLOGICAL REPOSITORY IN THE REPUBLIC OF BELARUS***

There are no nuclear power plants (NPP) in Belarus at present. However, the construction of NPP is planned in the future. The palygorskite-bearing zone of the Pripyat Graben have been defined as the prospective object for radioactive waste repository (RWR).

УДК 553.973

О. Г. Красноберская, Г. А. Соколов, В. Н. Назаров

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ВНЕСЕНИИ САПРОПЕЛЯ ОЗЕРА ПРИБЫЛОВИЧИ

Приведены данные по влиянию сапропеля оз. Прибыловичи на агрохимические характеристики дерново-подзолистой супесчаной почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Применение сапропеля органоизвестковистого и органокремнеземистого типов в дозах соответственно 30–60 и 40–80 т/га увеличило содержание в почве усвояемых форм элементов питания, особенно калия, улучшило ее показатель кислотности и обеспечило прибавки урожайности сельскохозяйственных культур на 14–24 % в зависимости от дозы.

Значительная часть пахотных земель республики характеризуется избыточной кислотностью, обусловленной климатическими и зональными особенностями почвообразовательных процессов, а также сравнительно низким содержанием гумуса и недостаточным для получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур содержанием основных питательных веществ, особенно на почвах легкого гранулометрического состава, включая земли Лельчицкого района. Поэтому для повышения плодородия и улучшения агрохимических характеристик данных почв, включая реакцию почвенной среды, целесообразно использовать такие местные виды органических удобрений, как сапропель [2, 3].

Сапропелевое месторождение оз. Прибыловичи Лельчицкого района, залегающее под слоем торфа, имеет запасы органоизвестковистого и органокремнеземистого типов сырья 644,8 тыс. т с влажностью 43–75 %, которые могут извлекаться сравнительно дешевым экскаваторным способом и после досушивания на открытом воздухе и дробления использоваться в качестве соответствующих видов сапропелевых удобрений. Их характеристики, а также данные почв опытных участков приведены в табл. 1.

Производственные опыты по оценке эффективности сапропеля заложены на дерново-подзолистой супесчаной почве Лельчицкого района Гомельской области. В качестве опытных культур с учетом их биологических особенностей выбраны кукуруза сорта Алмаз, свекла сорта Бордо и подсолнечник сорта Степок.

Дозы внесения сапропеля представлены на схеме производственных опытов и выбраны по результатам вегетационно-лабораторных испытаний 2009 г.: 30–40 т/га – минимальная доза, при которой заметно изменение агрофизических и агрохимических свойств почвы; доза внесения доломитовой муки рекомендована Институтом почвоведения и агрохимии для данных почвенных условий [1]. Для кукурузы также были испытаны двойные дозы внесения (60 и 80 т/га).

После уборки урожая в почвах опытных участков определялось содержание подвижных форм фосфора и калия, минеральных форм азота и изменение величины pH. Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия в почве всех опытных вариантов было выше, чем в контролльном (табл. 2).

Таблица 1. Агрохимическая характеристика внесенных сапропелевых удобрений озера Прибыловичи и почв опытных участков

Образец	рН	A ^c , %	Содержание валовых форм, % на а.с.м.			Содержание подвижных форм, мг/кг а.с.м.			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	N-NH ₄
Органоизвестковистый сапропель	7,6	63,2	0,98	0,40	0,13	1470	210	954	1400
Органокремнеземистый сапропель	7,4	43,0	2,13	1,26	0,12	7200	122	Отсутствует	730
Почва (участок под свеклу и подсолнечник)	6,5	–	–	–	–	147	244	29	Отсутствует
Почва (участок под кукурузу)	6,0	–	–	–	–	302	316	7,9	Отсутствует

Схема опытов по изучению эффективности сапропеля оз. Прибыловичи
Лельчицкого района Гомельской области

Вариант	Вариант опыта, доза внесения удобрения в расчете на 1 га	Культура
1	Контроль	Подсолнечник
2	Сапропель органоизвестковистый – 30 т/га	
3	Сапропель органокремнеземистый – 40 т/га	
4	Контроль	Свекла
5	Сапропель органоизвестковистый – 30 т/га	
6	Сапропель органокремнеземистый – 40 т/га	
7	Контроль	Кукуруза
8	Сапропель органоизвестковистый – 30 т/га	
9	Сапропель органоизвестковистый – 60 т/га	
10	Сапропель органокремнеземистый – 40 т/га	
11	Сапропель органокремнеземистый – 80 т/га	
12	Мука доломитовая – 3 т/га	

Таблица 2. Содержание подвижных форм элементов питания в почве, г/кг а.с.м.

№	Вариант опыта	pH	N-NH ₄	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Контроль	6,4	–	8,3	99	106
2	Подсолнечник (почва + СИ, 30 т/га)	6,8	–	8,3	238	196
3	Подсолнечник (почва + СК, 40 т/га)	6,4	–	8,9	214	130
4	Контроль	6,2	–	2,0	325	146
5	Свекла (почва + СИ, 30 т/га)	6,4	–	3,2	335	390
6	Свекла (почва + СК, 40 т/га)	6,4	–	2,3	545	192
7	Контроль	5,8	–	3,5	182	53
8	Кукуруза (почва + СИ, 30 т/га)	6,0	–	4,1	213	188
9	Кукуруза (почва + СИ, 60 т/га)	6,7	–	3,6	212	143
10	Кукуруза (почва + СК, 40 т/га)	6,6	–	5,7	276	91
11	Кукуруза (почва + СК, 80 т/га)	6,4	–	3,7	233	86
12	Кукуруза (почва + доломитовая мука, 3 т/га)	7,0	–	15,6	20,2	68

Примечание: СИ – сапропель органоизвестковистый; СК – сапропель органокремнеземистый.

Аммонийный азот отсутствовал на всех делянках. Содержание нитратного азота в вариантах с внесением сапропеля под кукурузу было на 2,3–62,9 % выше, чем на контроле, а при внесении доломита – выше более чем в 3 раза.

Содержание подвижного фосфора возросло после внесения сапропеля в сравнении с контролем на 16,5–51,6 %; содержание подвижного калия – на 62,3–254,7 %. В варианте с доломитовой мукой превышение содержания фосфора и калия составило соответственно 11,0 и 28,3 %.

На участке со свеклой содержание нитратного азота в почве в вариантах с внесением сапропелевых удобрений повысились на 15,0–60,0 % по отношению к контролю; подвижного фосфора – на 3,1–67,7, а подвижного калия – на 31,5–167,1 %.

На участке с подсолнечником содержание подвижного фосфора в почве опытных вариантов стало на 116,2–140,4 % выше, чем на контроле, а подвижного калия – на 2,6–84,9 %. Содержание нитратного азота практически не изменилось.

Сравнение содержания элементов питания в вариантах с дозами внесения сапропеля 30 т/га (оргanoизвестковистый) и 40 т/га (органокремнеземистый) для каждой культуры показало, что,

как в почве, так и в растениях кукурузы, содержание нитратного азота и фосфора было выше при внесении органокремнеземистого сапропеля, однако содержание калия было ниже вдвое, что, по-видимому, объясняется его возрастающим выносом с урожаем.

В опыте со свеклой содержание в почве нитратного азота и калия было выше при внесении органоизвестковистого сапропеля.

В опыте с подсолнечником органокремнеземистый сапропель превосходил органоизвестковистый лишь по содержанию нитратного азота.

Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия в почве для вариантов с двойными дозами внесения сапропеля было меньшим, чем в вариантах с внесением доз 30 и 40 т/га.

В варианте с внесением доломитовой муки отмечено высокое содержание нитратного азота, содержание же фосфора и калия было ниже, чем в вариантах с применением сапропелей.

Кислотность почвы снизилась на 0,2–0,9 единицы pH, причем эффективность применения сапропеля была выше на более кислой почве.

Урожайность кукурузы в испытуемых вариантах составила: при дозе внесения сапропеля

органического типа 30 т/га – 58,4 ц/га (прибавка урожайности к контролю 13,8 %), при дозе внесения 60 т/га – 63,3 ц/га (прибавка урожайности 23,2 %); при дозе внесения сапропеля органокремнеземистого типа 40 т/га – 58,7 ц/га (прибавка к контролю 14,4 %), при дозе внесения 80 т/га – 63,5 ц/га (прибавка составила 23,7 %); при дозе внесения доломитовой муки 3 т/га – 58,2 ц/га (прибавка – 13,5 % к контролю). На производственной площади с базовой технологией урожайность составила 51,3 ц/га.

Урожайность свеклы в испытуемых вариантах: при дозе внесения сапропеля органоизвестковистого типа 30 т/га – 451 ц/га (прибавка урожайности к контролю 18 %), при дозе внесения сапропеля органокремнеземистого типа 40 т/га – 439 ц/га (прибавка – 15 %). На производственной площади с базовой технологией урожайность составила 382 ц/га.

Из-за экстремальных погодных условий посевы подсолнечника были досрочно убраны на зеленую массу, поэтому учет урожая на них не производился.

Через месяц после закладки опытов были отобраны образцы молодых растений для определения их морфологических характеристик и содержания валовых форм элементов питания.

Высота и масса растений во всех вариантах опыта превышали показатели контрольных растений, особенно для свеклы. Так, зеленая масса растений подсолнечника была на 13–43 % больше, кукурузы – на 9–42, свеклы – на 76–96 %. Длина корней и диаметр завязывающихся корнеплодов свеклы также были значительно больше, чем у контрольных. Длина корней кукурузы в вариантах с органо-известковистым сапропелем и доломитовой мукой была меньше контрольных, по-видимому, за счет улучшения pH почвы и, соответственно, улучшения условий питания растений.

Содержание валовых форм фосфора и особенно калия в исследуемых растениях было очень высоким, а содержание общего азота – низким (в кукурузе – близким к оптимальному).

После уборки урожая в растениях определялось содержание валовых форм элементов питания (табл. 3).

Таблица 3. Содержание валовых форм элементов питания в растениях, проценты на а.с.м.

№	Вариант опыта	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
4	Контроль	2,01	0,70	4,40
5	Свекла (почва + СИ, 30 т/га)	2,20	0,84	5,45
6	Свекла (почва + СК, 40 т/га)	2,64	0,90	5,60
7	Контроль	1,35	0,68	0,78
8	Кукуруза (почва + СИ, 30 т/га)	1,24	0,75	1,02
9	Кукуруза (почва + СИ, 60 т/га)	1,34	0,72	1,05
10	Кукуруза (почва + СК, 40 т/га)	1,32	0,76	0,85
11	Кукуруза (почва + СК, 80 т/га)	1,19	0,81	0,69
12	Кукуруза (почва + доломитовая мука, 3 т/га)	1,33	0,84	0,93

Согласно данным [4], в растениях кукурузы в фазе молочной спелости содержание общего азота 1,0–1,5 % считается оптимальным, содержание общего фосфора более 0,30 – высоким, содержание общего калия более 1,33 % – оптимальным.

У свеклы в корнеплодах перед уборкой высоким считается содержание общего азота более 1,0 %, общего фосфора – более 0,25, общего калия – более 5,0 %. Исходя из этого содержание валовых форм азота, фосфора и калия в растениях было оптимальным либо высоким.

Содержание элементов питания в растениях внедряемых вариантов было выше, чем в контрольных, за исключением содержания азота в кукурузе, где этот показатель составил 88,1–99,3 % от контроля. Содержание фосфора в кукурузе опытных вариантов было на 5,9–31,3 % выше, чем в контрольных, а содержание калия – на 9,0–34,6 %. В свекле внедряемых вариантов содержание азота составляло 109,5–131,3 % от контроля, фосфора – 120,0–128,6, а калия – 123,8–127,3 % от контроля.

Содержание элементов питания в растениях в конце вегетации было заметно ниже, чем в молодых растениях. Так, в кукурузе содержание азота в растениях опытных вариантов снизилось в 2,5 раза (в контрольных – в 2,6 раза), содержание фосфора – в 1,2–1,4 (в контрольных – в 2,6), содержание калия – в 5,6–6,8 раза (в контрольных – в 7,6 раза). В свекле отмечено снижение содержания азота в 1,6–1,8 раза (на контроле – в 2 раза), фосфора – в 1,4–1,6 раза (на контроле – в 2,3 раза), калия – в 2 раза (на контроле – в 2,5 раза), что с позиций онтогенеза растений объясняется ростовым разбавлением.

Сравнение содержания элементов питания в растениях вариантов с дозами внесения сапропеля – 30 т/га (органический) и 40 т/га (органокремнеземистый) показало, что различия между ними невелики. Применение органоизвестковистого сапропеля обеспечивало большее содержание азота в растениях кукурузы (на 8,1 %), а применение органокремнеземистого – большее содержание калия (на 20 %). В свекле в вариантах с внесением органокремнеземистого

сапропеля отмечено более высокое содержание всех трех элементов (на 2,6–20 %). Увеличение дозы внесения сапропеля вдвое сопровождалось повышением содержания азота, фосфора и калия лишь на уровне тенденции, т. е. на 3–10 %.

Таким образом, применение сапропеля озера Прибыловичи органоизвестковистого и ор-

ганокремнеземистого типов на дерново-подзолистой супесчаной почве в дозах соответственно 30 и 60, а также 40 и 80 т/га увеличило содержание в почве подвижных форм элементов питания растений, особенно калия, улучшило ее реакцию и дало прибавку урожайности сельскохозяйственных культур.

Л и т е р а т у р а

- Предложения о комплексном использовании сапропелей в качестве удобрений и для нейтрализации кислотности почв. Минск, 1988.
- Рубанов В. С., Коршун Н. Н.** Действие сапропелей на урожай сельскохозяйственных культур и на изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы в условиях Белоруссии // Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве. Минск, 1976. С. 146–156.
- Соколов Г. А., Тишкович А. В., Братишко Р. Ф. и др.** Торф и сапропель в решении агроэкологических проблем // Природопользование. Минск, 2002. Вып. 8. С. 154–165.
- Церлинг В. В.** Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справ. Минск, 1990.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 21.09.2011

О. Г. Красноберская, Г. А. Соколов, В. Н. Назаров

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ВНЕСЕНИИ САПРОПЕЛЯ ОЗЕРА ПРИБЫЛОВИЧИ

Использование сапропелевых удобрений в качестве местных органических и органо-минеральных видов может представлять определенный агроэкономический интерес при условии его целесообразности, а именно улучшения комплекса агрохимических свойств почв и соответствующего повышения урожайности возделываемых культур. В статье приведены результаты производственных опытов по изучению влияния сапропеля озера Прибыловичи на агрохимические характеристики дерново-подзолистой супесчаной почвы Лельчицкого района Гомельской области и урожайность сельскохозяйственных культур.

Показано, что внесение органо-известковистого и органо-кремнеземистого сапропеля в дозах соответственно 30 и 60, а также 40 и 80 т/га увеличивало содержание в почве подвижных форм азота, фосфора и особенно калия, улучшало ее реакцию, что результировалось в получении прибавок урожайности сельскохозяйственных культур на уровне 13,5–23,7 % к контролю в зависимости от возделываемой культуры и дозы внесения сапропеля.

Содержание валовых форм азота, фосфора и калия в растениях на внедряемых вариантах было оптимальным или высоким.

O. G. Krasnoberskaya, G. A. Sokolov, V. N. Nazarov

VARIATION OF AGROCHEMICAL LIGHT SOILS PROPERTIES AND FARMING CROPS YIELD AT INTRODUCING SAPROPEL OF LAKE PRIBYLOVICHY

Use of sapropel fertilizers as local organic and organic-mineral sorts may represent certain agro-economic interest under condition of its expediency, namely improvement of a complex of agrochemical properties of soils and corresponding increase of productivity of cultivated crops. The article provides results of know-how on studying of influence of sapropel of lake Pribylovichi on agrochemical characteristics of sod-podzolic sandy soil of Lelchitsky area of the Gomel district and productivity of agricultural crops.

It has been shown that application of organic-lime and organic-silicate sapropel in doses 30 and 60 accordingly and also 40 and 80 t/hectares increased the content in the soil of mobile forms of nitrogen, phosphorus and potassium especially, improved its reaction, that resulted in getting increases of productivity of agricultural crops at the level of 13,5–23,7 % to the checked one depending on cultivated crop and dose of sapropel introduction.

The nitrogen total forms content, as well as phosphorus and potassium in plants at introduced variants was optimal or high.

УДК 662.813:732

Ю. Г. Соколовская, П. Л. Фалюшин

ПИРОЛИЗ ОТХОДОВ МЕБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методом пиролиза в подвижном слое горючих отходов мебельного производства получен газ с теплотой сгорания около 15 720 кДж/нм³, который предполагается использовать в качестве моторного топлива в когенерационных установках получения электрической и тепловой энергий.

Показано влияние вида древесных отходов и условий процесса на состав и теплоту сгорания газа с применением непрерывно действующего щнекового пиролизера с внешним электрообогревом. Установлено также влияние экзотермического эффекта при пиролизе древесных отходов на расход электроэнергии.

До 60-х гг. прошлого века горючие газы, полученные на основе твердого топлива и растительной биомассы, использовали в качестве моторного топлива, а также в различных технологических процессах. Были созданы энергоисточники с получением электрической энергии на основе местных видов топлива [2]. В настоящее время в связи с ростом цен на углеводородные энергоносители вновь возрастает интерес к генераторным и пиролизным газам, создаются специальные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) на низкокалорийных газах для энергоисточников, работающих по схеме газогенератор (пиролизер) – циклон-охладитель – фильтр тонкой очистки газа – ДВС – электрогенератор.

В 2000 г. в НАН Беларуси совместно с БАТУ разработана передвижная газогенераторная электростанция электрической мощностью 12 кВт, где в качестве моторного топлива использовали генераторный газ с теплотой сгорания около 4609 кДж/нм³, полученный из сухой древесины. Электростанция снабжала током сварочный агрегат [1].

Представляет интерес многолетний опыт создания аппаратов для пирогенетической переработки древесины с производством древесного угля, жидких продуктов, горючих газов. Расход топлива на процесс составлял около 15 % от пиролизируемого сырья при конечной температуре не выше 500 °С. При получении древесного угля обогрев аппарата осуществляется с помощью дымовых газов от сжигания парогазовой смеси, выделяемой в процессе термического разложения сырья [3]. В случае производства древесного угля и жидких продуктов (смола, органические кислоты, спирты) в качестве теплоносителя используют дымовые газы от сжигания древесных отходов и неконденсируемых газов.

При получении горючих газов с помощью газогенераторов применяется автотермический процесс, т. е. сжигается часть топлива (до 30 %) для поддержания процесса газогенерации.

Анализ ранее выполненных работ по пиролизу древесины показал, что часть теплоты на

проведение процесса можно получать за счет экзотермических реакций, протекающих в процессе термического разложения органического вещества без доступа воздуха с выделением 1173,2 кДж/кг [3]. Экзотермический эффект проявляется в области 200–500 °С, что наглядно фиксируется методом термического анализа древесины на кривой дифференциально-термического анализа (ДТА) на дериватографе (рис. 1).

При этом также фиксируется температура (T), потеря массы (термогравиметрическая кривая – ТГ) и скорость потери массы на дифференциальной термогравиметрической кривой – ДТГ.

Количество теплоты, необходимой для процесса пиролиза древесины, в разных стадиях неодинаково. В первый период требуется подвод теплового потока для удаления влаги и для повышения температуры до начала экзотермической реакции. Обычно для термохимической переработки используют древесину, высушеннную до влажности ниже 2 %. В период экзотермической реакции (200–500 °С) не требуется подводить тепловой поток для нагревания древесины, так как данный период характеризуется положительным тепловым эффектом. При пиролизе количества теплоты выделяется столько, что при достаточно низкой влажности процесс может протекать за счет экзотермической реакции, а в аппарате, в котором проводится пиролиз, возможно быстрое и значительное повышение температуры до 500 °С. При этом за счет реакций синтеза новых, более термически устойчивых веществ на основе продуктов термического разложения органического вещества древесины выделяется энергия.

Разработана промышленная реторта для пиролиза древесины с нагревом за счет теплоты экзотермической реакции [3]. Характерной особенностью такой реторты является то, что в ней используется теплота, выделяемая при экзотермической реакции разложения древесины, в следствие чего процесс протекает без дополнительного топлива, которое требуется только для

прогрева хорошо изолированной реторты до температуры 550 °С. Для того чтобы процесс разложения протекал без подвода теплового потока извне, необходимо поступление в реторту древесины, измельченной до 100–50 мм и высушеннной до влажности 0,5–1,0 %. Производительность реторты составляет 100 т абсолютно сухой

древесины в сутки. Реторта работает в течение двух недель, затем ее останавливают на профилактику. Кроме древесного угля при этом получают органические кислоты (уксусную и др.), спирты и пиролизный газ с теплотой сгорания от 7961 до 10 349,3 кДж/нм³.

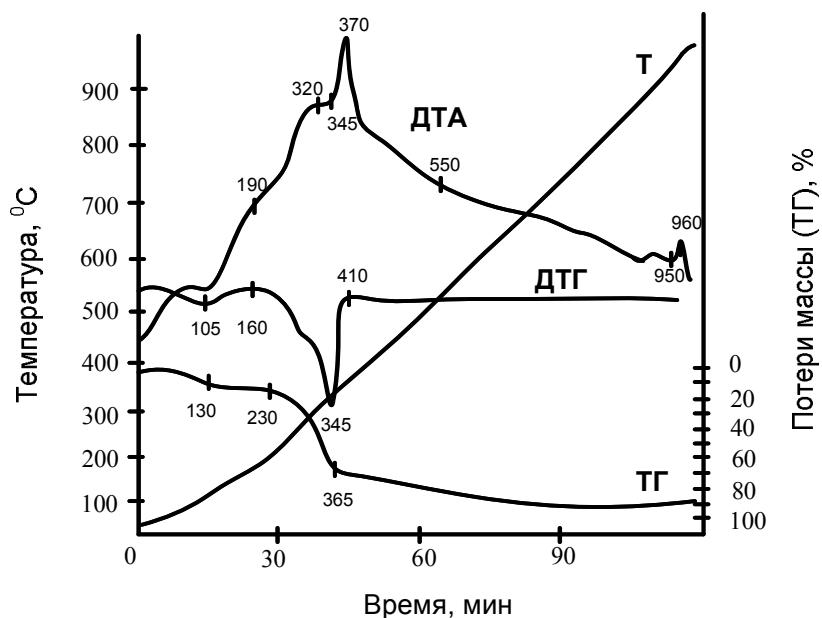


Рис. 1. Термический анализ древесной щепы

В 2007 г. в Институте природопользования НАН Беларуси создана экспериментальная непрерывно действующая шnekовая установка для пиролиза бурых углей производительностью по сырью до 30 кг/ч [4]. Установка с внешним обогревом дымовыми газами от сжигания генераторного газа, полученного газификацией торфа, позволяет проводить пиролиз при максимальной температуре 750 °С и получать среднекалорийный газ с высоким выходом и кокс или полукохс.

Таким образом в настоящее время необходимо использовать ранее накопленный многолетний опыт создания энергосберегающей технологии и оборудования по термохимической переработке древесного топлива на основе современных технологий.

В данной работе ставилась цель получения горючего газа с повышенной теплотой сгорания методом пиролиза древесных отходов мебельного производства в подвижном слое с применением непрерывно действующего аппарата шnekового типа с внешним электрообогревом с учетом влияния экзотермических процессов, протекающих при термическом разложении древесного сырья.

В качестве отходов мебельного производства использовали древесно-стружечную пыль, опилки, щепу, пеллеты, полученные из древесных отходов, и др., влажностью около 10 %, раз-

мером частиц до 5 мм, низшая рабочая теплота сгорания 15 922–16 760 кДж/кг.

Создана крупнолабораторная пиролизная установка производительностью по сырью до 15 кг/ч, длиной 3,5 м, диаметром шнека 0,12 м, с регулируемым числом оборотов (1–3 об/мин). Установка включает блок дозированной равномерной подачи сырья в пиролизер, обогрев которого осуществляется с применением трех секций по длине для регулирования внешнего электрообогрева с нарастающим температурным режимом по мере движения пиролизируемого сырья: 300–400–500 °С, 400–600–700 °С и 400–600–850 °С. Имеется блок отвода и сбора твердого продукта пиролиза (порошкообразный древесный уголь), блок отвода парогазовой смеси, включающий систему охлаждения газов и конденсации жидкой фракции.

Пиролизный газ предполагается использовать в качестве моторного топлива, а порошкообразный древесный уголь – в качестве высококалорийного твердого топлива, сырья для производства углеродных сорбентов, восстановителя металлов в металлургии или в качестве компонента супензионного топлива (рис. 2).

Испытания установки показали, что выход, состав и теплота сгорания пиролизного газа зависят от конечной температуры при 1–2 об/мин шнека пиролизера (таблица).

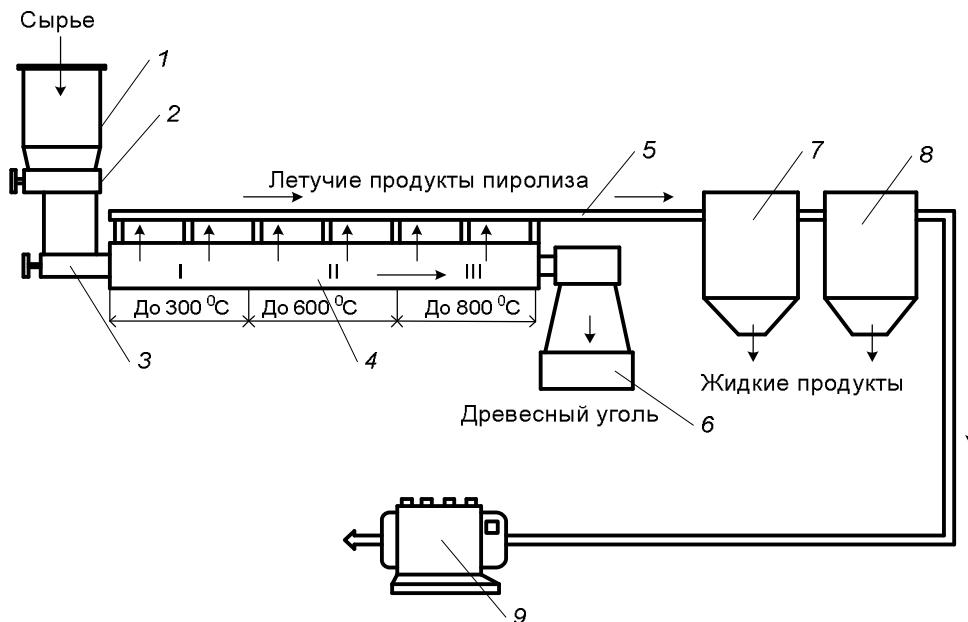


Рис. 2. Схема пиролизной установки: 1 – бункер для сырья; 2 – дозатор для сырья; 3 – шнековый пиролизер с тремя температурными секциями; 4 – кожух пиролизера; 5 – труба для отвода летучих веществ; 6 – приемник для древесного угля; 7 – циклон-охладитель; 8 – фильтр тонкой очистки газа; 9 – ДВС с электрогенератором

Таблица. Качественные показатели горючего газа при пиролизе древесных отходов

Сырье	W, %	A, %	CO ₂ , об. %	C _n H _m , об. %	CO, об. %	H ₂ , об. %	CH ₄ , об. %	d, кг/нм ³	Q, кДж/нм ³
Температурный режим 400–600–700 °C, число оборотов – 2 об/мин									
Щепа	9,44	0,14	9,08	0,32	23,24	48,97	18,39	0,65	14 987,63
Пыль ДСП	8,16	0,54	15,36	1,14	18,96	42,06	22,48	0,76	15 632,89
Пеллеты	7,12	0,31	19,95	1,13	19,07	38,01	21,84	0,84	14 975,06
Температурный режим 400–600–700 °C, число оборотов – 1 об/мин									
Пыль ДСП	8,16	0,54	17,14	1,89	21,55	37,32	22,10	0,83	15 754,5
Температурный режим 300–400–500 °C, число оборотов – 1 об/мин									
Опилки	8,20	0,15	42,20	2,01	8,75	32,62	14,42	1,11	10 944,28
Температурный режим 400–600–850 °C, число оборотов – 2 об/мин									
Щепа	9,44	0,14	5,35	0,53	30,51	51,83	11,78	0,63	13 990,41
Опилки	8,20	0,15	13,30	1,14	21,19	43,18	21,19	0,74	15 578,42
Температурный режим 400–600–850 °C, число оборотов – 1 об/мин									
Щепа	9,44	0,14	15,42	2,18	22,67	38,61	21,12	0,81	15 854,96
Пеллеты	7,12	0,31	3,52	0,54	27,89	59,39	8,66	0,54	13 361,91

При пиролизе древесной щепы и пеллетов газ содержит максимальное количество водорода, достигающее 50 %, а сумма (CO+H₂) составляет около 80 %. Однако в целом вид древесных отходов при конечной температуре пиролиза 700–850 °C не оказал существенного влияния на теплоту сгорания газа, которая составляет 14 665–15 922 кДж/нм³, выход газа достигал 600–700 м³/т сухих отходов. Такой газ можно использовать в качестве моторного топлива в исходном виде или в смеси с жидким топливом.

Выход порошкообразного древесного угля при конечной температуре пиролиза 850 °C составил около 20 %, содержание углерода в нем

достигало 96 %. Уголь может найти применение в качестве высококалорийного экологически чистого твердого топлива, сырья для производства сорбентов, восстановителя металлов в металлургической промышленности и других отраслях.

Выход жидких продуктов пиролиза (смола + вода) составил всего около 5 %. Это объясняется тем, что парогазовая смесь, образующаяся на начальном этапе пиролиза до 500 °C, в зоне высоких температур при 600–800 °C взаимодействует с углеродом угля с образованием дополнительного количества газа за счет разложения смолы. Данные продукты пиролиза рекомендуется использовать вместе с древесным углем в ка-

честве компонента жидкого котельного топлива после кавитационной обработки.

В процессе испытаний пиролизной установки внешний обогрев пиролизера осуществлялся следующим образом. При прохождении материала через три секции пиролизера он постепенно нагревался, скорость нагрева повышалась с 3 до 50 °С/мин, а в интервале температур 200–500 °С проходил самопроизвольный подъем температуры без затрат энергии. Средняя секция, т.е. 1/3 длины, при этом отключалась, потребление электроэнергии фиксировали только в начале и в конце пиролизера в интервале 550–850 °С, т. е. затраты энергии на пиролиз снижались на 30–40 % за счет экзотермических процессов при термическом разложении древесного сырья.

На рис. 2 представлена принципиальная технологическая схема опытно-промышленной

установки, разработанной на основе данных, полученных при испытании крупнолабораторной установки, где используется непрерывно действующий пиролизер с внешним электрообогревом.

Таким образом, применение внешнего электрообогрева в непрерывно действующем пиролизере шнекового типа не окажет существенного негативного влияния на технико-экономические показатели установки, учитывая то обстоятельство, что коммерческими продуктами термохимической переработки древесных отходов мебельного производства могут быть среднекалорийный газ, используемый в качестве моторного топлива, и высокоуглеродистый материал – древесный уголь, а затраты на электрообогрев пиролизера снижены за счет проявления экзотермического эффекта.

Л и т е р а т у р а

1. **Бохан Н. И., Куликов И. С., Фалюшин П. Л. и др.** Передвижная газогенераторная электростанция на древесном топливе // Энергоэффективность. 2000. № 11. С. 18–19.
2. **Гринь Л. П.** Силовые газогенераторные установки для сельского хозяйства. Киев–Москва, 1956. С. 135–150.
3. **Козлов В. Н., Нимвицкий А. А.** Технология пирогенетической переработки древесины. М.–Л., 1954.
4. **Фалюшин П. Л., Дударчик В. М., Тановицкий В. И. и др.** Экспериментальная установка по термохимической переработке бурых углей и результаты ее испытаний // Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С. 211–217.

**Объединенный институт энергетических и ядерных исследований «Сосны» НАН Беларуси,
Институт природопользования НАН Беларуси**

Поступила в редакцию 06.09.2011

Ю. Г. Соколовская, П. Л. Фалюшин

ПИРОЛИЗ ОТХОДОВ МЕБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В аппарате шнекового типа при пиролизе в подвижном слое древесных отходов мебельного производства получен газ с теплотой горения 15 712,5 кДж/нм³ с выходом около 700 м³/т и высокоуглеродистый уголь. Показано влияние условий пиролиза на состав и теплоту горения газа. Установлена роль экзотермического эффекта в процессе пиролиза древесных отходов в области 200–500 °С в снижении расхода энергии для электрообогрева пиролизера.

Проведен термический анализ древесной щепы на дериваторграфе. Предложена схема пиролизной установки с ДВС и электрогенератором.

Yu. G. Sokolovskaya, P. L. Falushin

PYROLYSIS OF FURNITURE PRODUCTION WASTE

In the feed-screw apparatus under pyrolysis in mobile layer of timber waste of furniture industry a gas was produced of calorific value 15 712,5 KdJ/nm³ with outcome of about 700 m³/t and high-carbon coal. The impact of pyrolysis conditions on gas composition and calorific value has been shown. Role of exothermal effect in pyrolysis process of timber waste in the range 200–500 °C in the decrease of power reduction for pyrolyser power heating has been shown.

Thermal analysis of timber chips by derivation-graph has been carried out. The scheme of pyrolysis machine with DVS and power generator has been offered.

УДК 628.349:[547.992.2-386:546.4/.8]

В. М. Дударчик, С. И. Коврик, Т. П. Смычник

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФОЩЕЛОЧНЫХ СУСПЕНЗИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ

Применение торфощелочных супензий позволяет не только эффективно очищать металлсодержащие растворы, но и получать осадки, пригодные для дальнейшей рекуперации металлов.

Предложена схема очистки металлсодержащих сточных вод с использованием торфощелочных супензий.

Протекторная функция гуминовых веществ (ГВ) в биосфере заключается в способности связывать в малоподвижные или труднодиссоциирующие соединения различные экотоксиканты [1]. Так, при взаимодействии ГВ с катионами тяжелых металлов (ТМ) образуются нерастворимые металлгуминовые комплексы (МГК).

Поскольку содержание ГВ в торфе может достигать 60 %, то одним из перспективных направлений применения торфа и препаратов на его основе может стать очистка металлсодержащих сточных вод (СВ) [6, 8]. Преимуществом их использования является то, что из образующихся при очистке МГК можно выделять и рекуперировать металлы [7, 8].

Цель работы – установление оптимальных условий очистки металлсодержащих растворов препаратами на основе торфа, в результате которой образуются осадки с максимальным содержанием МГК.

Торфощелочные супензии (ТЩС) получали настаиванием низинного осокового торфа со степенью разложения 25–30 % в течение 1 сут в 0,4 %-ном растворе гидроксида натрия. Модельные металлсодержащие растворы готовили растворением сульфатов меди, хрома, никеля, цинка и нитрата свинца в воде; концентрация катионов составляла 50 мг/дм³.

Очистка металлсодержащих растворов осуществлялась введением ТЩС различных концентраций и объемов в статических условиях. По достижении химического равновесия образующийся осадок отделяли центрифугированием или фильтрованием и в исходном растворе и фагете на атомно-абсорбционном спектрометре «Сатурн-3П-1» определяли концентрацию катионов. По разности исходных и конечных значений находили количество связанного металла [5]. Величина случайной ошибки составляла 5 % от среднего значения показателя (доверительная вероятность – 95 %).

Оказалось, что при увеличении доли гуминовых кислот (ГК) в соотношении Ме : ГК степень очистки исследуемых растворов возрастает. Установлено, что при соотношении (Ме : ГК) 1:1 и выше достигается максимальная степень очистки металлсодержащих растворов ТЩС, которая мо-

жет достигать 97 % (таблица). Но, несмотря на высокие значения степени очистки исследованных растворов, минимальные остаточные концентрации ТМ составляли 2–10 мг/дм³ и превышали значения ПДК. Поэтому ТЩС целесообразнее использовать для предочистки металлсодержащих СВ.

Показано, что при избытке органического вещества в соотношении Ме : ГК образуются растворимые МГК. Образование растворимых МГК при связывании 2,8 %-ной ТЩС наступает при относительно больших количествах органического вещества в соотношении Ме : ГК (1:2 и выше), чем для 1,4 %-ной ТЩС (2:1 и 1:1). Это вызвано снижением числа ионизированных функциональных групп ГК за счет усиления межмолекулярного взаимодействия [3, 6]. По этой же причине при одинаковых соотношениях Ме : ГК более разбавленные растворы ТЩС связывают относительно большие количества катионов, чем концентрированные.

При очистке СВ реагентным способом образуются осадки, состоящие из гидроксидов металлов, которые практически не подлежат утилизации, ухудшая экологическую обстановку. При использовании ТЩС образуются осадки, существенно отличающиеся от гальваношламов тем, что помимо гидроксидов металлов (30–70 %), содержат 20–70 % МГК и 5–15 % продуктов взаимодействия ТМ с органическим веществом торфа негуминовой природы (см. таблицу). Из таких осадков можно рекуперировать металлы [8].

Установлено, что с возрастанием степени очистки металлсодержащих растворов увеличивается pH осадкообразования, что ведет к уменьшению содержания МГК в осадке.

Дальнейшие исследования показали, что перечисленные закономерности наблюдаются при очистке ТЩС металлсодержащих растворов с концентрацией катионов 200, 300 и 2000 мг/дм³ [2, 4, 5]. Максимальная степень очистки всех исследуемых растворов ТЩС превышала 90 %.

Полученные данные позволили разработать схему очистки металлсодержащих СВ, в которой предусмотрены направления переработки и утилизации образующихся осадков (рисунок).

Таблица. Степень очистки металлсодержащих растворов ТЩС осокового торфа (F) и содержание МГК в осадках, %

Соотношение Ме : ГК	Концентрация ТЩС					
	1,4 %		2,8 %		рН _{осад.}	МГК, %
	рН _{осад.}	F, %	рН _{осад.}	F, %		
Хром, рН _{исх.} = 3,3						
10:1	3,6	13	66	3,5	10	71
2:1	4,8	33	61	4,1	25	67
1:1	6,1	89	46	4,9	41	58
1:2	*	*	*	5,2	97	54
1:2,5				*	*	*
Медь, рН _{исх.} = 5,7						
10:1	5,9	15	55	5,7	11	55
2:1	6,3	53	46	6,1	31	48
1:1	6,5	84	39	6,2	48	44
1:2	7,2	97	16	6,5	92	39
1:2,5	*	*	*	*	*	*
Никель, рН _{исх.} = 7,1						
10:1	7,4	17	47	7,3	13	51
2:1	7,6	66	36	7,5	42	43
1:1	9,0	78	17	8,0	54	21
1:2	*	*	*	*	*	*
Цинк, рН _{исх.} = 6,6						
10:1	7,5	21	42	7,3	11	44
5:1	7,7	39	28	7,5	19	30
2:1	*	*	*	7,6	44	22
1:1				*	*	*
Свинец, рН _{исх.} = 5,7						
10:1	6,5	43	38	6,0	24	35
5:1	6,8	64	27	6,2	40	32
2:1	7,1	89	25	6,5	77	27
1:1	*	*	*	7,1	83	24
1:1,5				*	*	*

* Осадок не образуется.

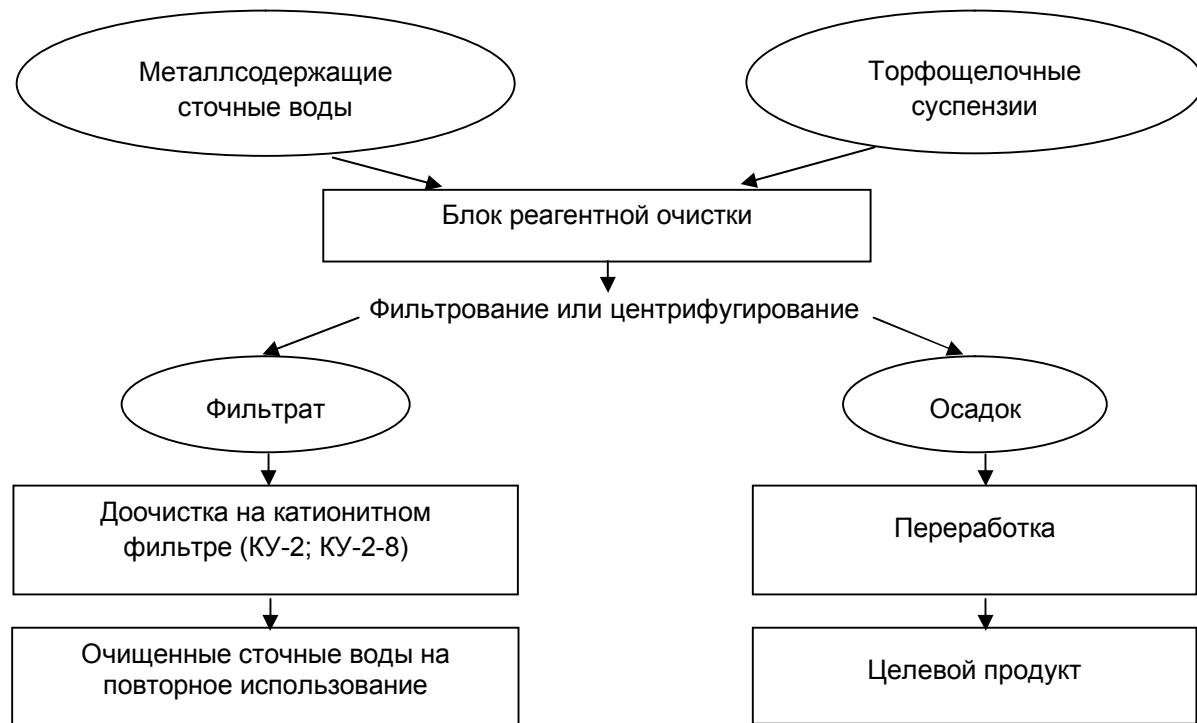


Схема очистки металлсодержащих сточных вод ТЩС

На первой стадии осуществляется предочистка металлсодержащих сточных вод ТЩС. В зависимости от направления использования осадка, вводя определенные количества ТЩС, можно очищать СВ на 80–90 % и получать осадки с невысоким содержанием МГК (17–55 %) или очищать на 15–50 % и получать осадки с более высоким содержанием МГК (до 70 %).

Переработка получаемого по схеме осадка может осуществляться по двум направлениям:

сушка, прессование в брикеты и складирование осадков с низким содержанием МГК, что уменьшает площади шламохранилищ и снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду [7];

рекуперация ценных ТМ из осадков с высоким содержанием МГК [8].

Доочистку до требуемых норм можно проводить общепринятыми способами на различных катионитных фильтрах.

Таким образом, установлено, что степень очистки модельных металлсодержащих растворов ТЩС может достигать 90 %. Особенностью использования ТЩС для очистки металлсодержащих растворов является следующее:

с увеличением степени очистки металлсодержащих растворов уменьшается содержание МГК в осадке, что вызвано увеличением рН осадкообразования;

наиболее высокие степени очистки достигнуты для катионов хрома и меди, для этих же катионов получены осадки с максимальным (до 50–70 %) содержанием МГК.

Предложена схема очистки металлсодержащих СВ реагентным способом с использованием ТЩС, которая открывает возможность для дальнейшей переработки образующихся осадков известными методами.

Л и т е р а т у р а

1. Гуминовые вещества в биосфере / Под ред. Д. С. Орлова. М., 1993.
2. **Дударчик В. М., Коврик С. И., Смычник Т. П.** Очистка хромсодержащих растворов гуминовыми кислотами торфа // Весці НАН Беларусі. Сер. хімічні науки. 2002. № 4. С. 94–97.
3. Жоробекова Ш. Ж. Макролигандные свойства гуминовых кислот. Фрунзе, 1987.
4. Коврик С. И. Формирование металл-гуминовых комплексов в процессе очистки сточных вод препаратами на основе торфа. Дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2005.
5. Лиштван И. И., Дударчик В. М., Коврик С. И., Смычник Т. П. Связывание металлов-экотоксикантов из сточных вод торфяными модификациями // Химия и технология воды. 2007. № 1. Т. 29. С. 67–74.
6. Лиштван И. И., Круглицкий Н. Н., Третинник В. Ю. Физико-химическая механика гуминовых веществ. Минск, 1976.
7. Способ получения шламов очистки содержащих металлы сточных вод: Пат. RU 2096349 C1. Россия. 1997.
8. Тимофеева С. С. Современное состояние технологии регенерации и утилизации металлов сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды. 1990. № 3. Т. 12. С. 237–245.

Институт природопользования НАН Беларуси

Поступила в редакцию 15.09.2011

В. М. Дударчик, С. И. Коврик, Т. П. Смычник

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФОЩЕЛОЧНЫХ СУСПЕНЗИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ

Показана высокая эффективность очистки растворов, содержащих катионы Cr^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} и Pb^{2+} , торфощелочными супензиями. В зависимости от планируемого направления использования осадка можно:

очищать металлсодержащие растворы на 80–90 %, получая осадки для складирования с невысоким содержанием металлгуминовых комплексов (17–55 %). Такие осадки после сушки будут занимать меньший объем, чем гальваношламы;

очищать металлсодержащие растворы на 15–50 %, получая осадки с более высоким содержанием металлгуминовых комплексов (до 70 %). Из таких осадков можно рекуперировать металлы.

Самые высокие степени очистки с высоким содержанием металлгуминовых комплексов были зафиксированы при очистке хром- и медьсодержащих растворов.

В статье предложена схема очистки металлсодержащих сточных вод реагентным способом с использованием торфощелочных суспензий, в которой предусмотрены направления переработки и утилизации образующихся осадков.

V. M. Dudarchik, S. I. Kovrik, T. P. Smychnik

**POSSIBILITY OF USE OF PEAT-ALKALINE
SUSPENSIONS TO PURIFY METAL-CONTAINING SOLUTIONS**

High efficiency of clearing solutions containing Cr³⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺ and Pb²⁺, kations by peat-alkaline suspensions has been shown. Depending on a planned direction of a deposit use it is possible:

to purify metal-containing solutions by 80–90 %, getting deposits for warehousing of low content of metal-humic complexes (17–55 %). These post-drying deposits will occupy smaller volume, than galvanic slurr;

to purify metal-containing solutions by 15–50 %, getting deposits of higher content of metal-humic complexes (till 70 %). From such deposits metals recuperation is possible.

The highest purification degrees with high content of metal-humic complexes have been fixed when clearing chrome – and copper containing solutions.

The purification scheme of metal-containing sewage by reagent way with the use of peat-alkaline suspensions has been suggested in which directions of processing and recycling of formed deposits are foreseen.

ПРИРОДНЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ ХХI ВЕКА: ОТВЕТ ГЕОГРАФОВ

В последнее время ученые, эксперты, аналитики, рассматривая проблемы устойчивого развития стран и регионов, все чаще оперируют такими терминами, как «вызовы глобализации», «вызовы устойчивому развитию», «экологические вызовы», «климатические вызовы» и др. Так как термины относительно новы в русскоязычной научной литературе, они требуют взвешенного, основанного на комплексном пространственно-временном анализе ответа. Когда речь идет о природных, экономических, социальных, политических вызовах, то ответы на многие из них находятся в рамках географических исследований. Это особенно характерно для таких обширных, внутренне неоднородных и находящихся на сложнейшем этапе развития стран, как страны СНГ.

В данной связи проведение очередного заседания выездной сессии Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации академий наук (МААН) и Научного совета по фундаментальным географическим проблемам РАН на тему «Ответ географов стран СНГ на природные и социальные вызовы ХХI в.», которое состоялось с 20 по 23 мая 2011 г. в г. Мышкине Ярославской области, было своевременным и если судить по ее результатам – конструктивным.

В работе Сессии приняли участие 49 ученых, представляющих ведущие географические учреждения Азербайджана, Беларуси, России, Таджикистана, Туркменистана, Украины.

В ходе заседаний заслушаны 22 коллективных и индивидуальных доклада, состоялись многочисленные дискуссии, участники которых обсудили теоретические и прикладные аспекты природных и социальных вызовов устойчивому развитию стран СНГ.

Доклады отразили многообразие кардинальных географических проблем, которые рассматривались в качестве вызовов развитию стран и отдельных регионов. В постановочном докладе академика В. М. Котлякова (при участии О. Б. Глазер, Н.И. Короневича, Э. А. Лихачёвой, А. А. Тишкова, А. И. Трейвиша и А. Б. Шмакина) была показана продуктивность разработки и использования в географических исследованиях категории «вызовы» и их роль в качестве импульсов для развития стран и регионов; обозначены подходы к выявлению, анализу и оценке вызовов, предложен перечень и раскрыта суть основных вызовов, связанных с географическими факторами, намечены принципиальные направления поиска ответов на них.

В русском языке понятие «вызовы» очень широко и включает в себя не только проблемы, сложности и ограничения решаемой задачи, но и возможности ответа на возникшие вопросы. Как отметил В. М. Котляков, вызовы – это прежде всего такие проблемы, которые нельзя не замечать, потому что «страусиная политика» рано или поздно приведет к кручу или заведет в тупик. Как правило, говоря о вызовах, понимают именно задачи развития, прогрессивного движения вперед.

Большинство докладов было посвящено вызовам в природной и социальной сферах и охватывало следующие тематические блоки:

- водные ресурсы, их использование, экологическое состояние водных объектов (российское Приамурье, азиатская Россия, береговая зона России);
- природопользование, состояние экосистем (преимущественно на примере азиатской России, российско-казахстанского пограничья, стран Центральной Азии);
- демографическая ситуация, миграции населения, этнокультурный фактор (Россия);
- трансформация социально-экономического пространства России, расселение населения, стратегическое и территориальное планирование;
- природно-ресурсные, социально-экономические, экологические риски и безопасность (на примере Украины и Беларуси).

Несколько докладов посвящено проблемам, возникающим в приграничных регионах: рассматривались негативные трансграничные процессы, сложности взаимодействия и интеграции стран СНГ между собой и особенно с третьими странами.

Доклады ученых Украины (Л. Г. Руденко, Н. В. Багрова, В. П. Палиенко, С. А. Лисовского и Е. Л. Дроновой) и Беларуси (В. Ф. Логинова, М. И. Струка и В. С. Хомича), по существу, охватывали проблематику двух тематических блоков и были посвящены природно-ресурсной и экологической безопасности развития названных стран. В них сочеталось изложение конкретных примеров нарастания природных и техногенных рисков (Украина) и социально-экономических рисков и экологических последствий (Беларусь) при реализации современной экологической политики, с одной стороны, и концептуальных подходов к обеспечению устойчивого развития и национальной безопасности этих стран – с другой.

В докладах и дискуссиях неоднократно подчеркивалось, что экономический потенциал стран должен наращиваться прежде всего за счет роста эффективности экономики, а не за счет широкомасштабного вовлечения в оборот новых природных ресурсов.

Докладчики говорили о том, что вызовы носят комплексный и полимасштабный характер. Одним из основных вызовов, с которым сталкиваются все страны, является глобализация. Другой принципиальный вызов – демократическое развитие стран и формирование соответствующих институтов и законодательства, без которых невозможна реализация ответов на вызовы и, в частности, внедрение научных разработок в практику управления.

Состоявшиеся дискуссии показали, что общность и взаимосвязанность вызовов прежде единого пространства стран СНГ, глобальный характер мирового развития, интеграция стран при наличии нерешенных трансграничных проблем обусловливают важность сотрудничества географов разных государств.

По результатам обсуждения принято решение, включающее следующие позиции:

1. Все страны сталкиваются с вызовами, зарождающимися как в природе, так и в обществе. География будучи синтетической наукой, изучающей природные и социальные пространственные системы и многогранные внутри- и межсистемные взаимосвязи компонентов и процессов, должна играть важную роль в выявлении вызовов и поиске ответов на них.

2. На современном этапе в географии сложилось представление об основных вызовах ХХI в., обусловленных, в том числе, географическими факторами развития на глобальном, национальном, региональном и локальном уровнях. Прежде всего, это отражение таких процессов, как глобализация, урбанизация, борьба с терроризмом, бедностью и неравенством, дефицитом пресной воды, опустыниванием и деградацией земель, последствиями изменений климата, загрязнения среды и пр. Необходимо их научное осмысление и выработка оптимальных решений с учетом взаимосвязей между вызовами и комплексным характером влияния каждого из них на развитие стран и регионов. Развитие фундаментальных географических исследований, внедрение в них современных подходов и методов, информационная поддержка, совершенствование и создание новых методов прогнозирования природных и социально-экономических процессов и явлений, разработка мер по снижению остроты одних вызовов и использованию потенциала других – в этом должен заключаться главный ответ географов стран СНГ на вызовы ХХI в.

3. В настоящее время сформировался дисбаланс между потенциалом и возможностями географической науки в экспертном обосновании

управленческих решений, с одной стороны, и запросами лиц, принимающих решения, к географическому сообществу – с другой. Этот дисбаланс, естественно, породил институциональный кризис выработки мер по снижению остроты природных и социальных вызовов для России и других стран СНГ.

4. В большинстве государств отсутствует тесная взаимосвязь географической науки с общественной практикой, существует разрыв между экспертными и научными оценками, консалтинг превалирует над глубокими научными разработками. Это происходит в том числе из-за недостаточного внимания географов к выработке практических рекомендаций. Осознание данного факта должно привести к смене парадигмы в прикладных географических работах. Особенно важно, чтобы эта смена проявилась в таких сферах деятельности, как стратегическое и территориальное планирование, экологическая оценка проектов, формирование демографической и миграционной политики, определение приоритетов международного сотрудничества, решение трансграничных проблем, разработка превентивных мер и адаптация природы, хозяйства и населения к климатическим изменениям, поиск путей достижения Целей тысячелетия (Йоханнесбург, 2002) и др.

5. Большинство вызовов разномасштабны и зачастую имеют как позитивный, так и негативный векторы развития, что естественно, определяет разномасштабность ответов и их комплексность. В этой связи географам важно сосредоточиться на инвентаризации и систематизации вызовов, исходя из их географического (глобальные, макрорегиональные, национальные – уровень государства, региональные) и временного масштабов («вечные», текущие и будущие – прогнозные), оценки степени их критичности для всего человечества, отдельных стран и регионов.

6. Несмотря на общность многих проблем, каждая из стран СНГ имеет свой набор вызовов, специфичных по составу и интенсивности проявления. Россия в последние два десятилетия столкнулась с множеством негативных явлений федерального и регионального развития, которые в совокупности способны вызвать синергизм действия и последствий в стране в целом и на отдельных территориях: депопуляция, неравномерность и контрастность развития регионов и городов, разорванность пространства, ресурсное «давление», деградация во многих регионах природной среды, разрушение аграрного производства, неэффективное использование природных ресурсов, сочетающиеся с коррупцией, нехваткой демократических институтов и пр.

7. Среди специфических природных и социальных вызовов устойчивому развитию других стран СНГ в качестве наиболее серьезных можно назвать следующие:

- для государств Центральной Азии – дефицит пресной воды, низкая занятость населения, экологический кризис в зоне Приаралья, опустынивание;
- для государств Кавказа – резкое снижение производства в аграрно-промышленном комплексе, низкий уровень занятости населения, деградация земельных угодий, пограничные конфликты, проблемы развития инфраструктуры, экологический кризис в Прикаспийском регионе;
- для Украины – общее ухудшение экологической ситуации в условиях интенсивного антропогенного освоения территории, усиление природных и техногенных рисков, дефицит многих видов ресурсов, особенно углеводородов и воды, ухудшение качества поверхностных вод и почв;
- для Беларуси – радиоактивное загрязнение обширных территорий, образование больших объемов отходов производства и потребления при низкой степени их вторичного использования и отсутствии высокотехнологичной переработки, дефицит энергетических ресурсов и планируемое широкое использование местных ресурсов (торфа, бурого угля, сланцев), которое существенно ухудшит экологическую ситуацию, возможные чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера с учетом высокой концентрации опасных объектов на территории страны и вблизи ее границ.

8. Географическая наука может внести весомый вклад в выработку ответов на многие вызовы XXI в.: *глобализация* – поиск существующих и потенциальных конкурентных преимуществ, обусловленных географическими (в самом широком смысле) факторами; *урбанизация* – рекомендации по трансформации структуры расселения с учетом региональных и локальных особенностей саморазвития; *изменение климата* – верификация прогнозов, разработка стратегии и технологий адаптации к изменениям климата; *антропогенная трансформация среды* – создание экосетей, охраняемых природных территорий, реабилитация нарушенных земель; *энергетическая безопас-*

ность – энергосбережение и развитие альтернативной энергетики; *дефицит пресной воды* – рекомендации по рациональному водопользованию, очистке, сохранению запасов пресных вод; *депопулация* – разработка региональных стратегий в области демографической политики, регулирования миграций, адаптации мигрантов и снижения социальной напряженности в принимающих регионах; *геополитические вызовы* – пространственный анализ социально-экономического развития приграничных регионов и населенных пунктов, трансграничных связей и пр.

Участники сессии наметили следующие практические направления деятельности.

1. Продолжить в странах СНГ поисковые научные исследования с целью выявления генетического разнообразия, иерархических уровней и пространственных закономерностей возникновения (формирования) вызовов XXI в. и географического обоснования путей их преодоления в меняющемся мире.

2. Создать в составе Объединенного совета координационную группу для определения путей упреждения опасностей и рисков и формирования базы знаний (информация о рисках и уровнях уязвимости, электронные карты районов проявления чрезвычайных ситуаций и пр.). Главной задачей координационной группы считать обоснование до конца 2012 г. региональных баз знаний, опирающихся на близость регионов и схожесть природных условий (Кавказский, Центрально-азиатский, Российский, Украино-Молдаво-Белорусский регионы), а также на общие теоретико-методологические и терминологические вопросы, позволяющие впоследствии перейти от регионального уровня понимания проблем к национальному и межрегиональному уровням.

3. Опубликовать материалы выступлений на сессии в виде тематического издания – доклада «Природные и социальные вызовы XXI в.: природа, общество, пространство. Географические подходы в странах СНГ».

В. Ф. Логинов, В. А. Снытко, В. С. Хомич

XIX МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ СЪЕЗД ПО ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ХИМИИ

Менделеевские съезды по химии проводились и проводятся не реже 1 раза в 4–5 лет в крупнейших научных и культурных центрах России и других бывших союзных республик.

Состоявшийся в Петербурге в 1907 г. Первый Менделеевский съезд был посвящен памяти великого русского ученого Д. И. Менделеева (1834–1907). Позже съезды проводились в Москве, Ленинграде (Санкт-Петербурге), Казани, Харькове, Киеве, Алма-Ате, Баку, Ташкенте, Минске. Последний, XVIII Менделеевский съезд, состоялся в 2007 г. в Москве и был посвящен 100-летию Менделеевских съездов. В Минске XV Менделеевский съезд по общей и прикладной химии проходил в мае 1993 г. и был последним съездом Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. Этот съезд стал учредительным, принявшим решение об образовании Федерации химических обществ им. Д. И. Менделеева в составе Российского химического общества им. Д. И. Менделеева; Украинского химического общества; Белорусского химического общества; Казанского химического общества; Кыргызского химического общества; Узбекского химического общества; Республиканского химического общества им. Д. И. Менделеева Татарстана; Крымского республиканского химического общества им. Д. И. Менделеева. На Учредительном съезде был утвержден Устав Федерации химических обществ им. Д. И. Менделеева (26 мая 1993 г.). В последствии в связи с законодательством Республики Беларусь Федерация преобразована в Союз химических обществ им. Д. И. Менделеева. Устав Союза зарегистрирован решением Министерства юстиции Республики Беларусь 3 марта 2008 г. № 35.

Местом проведения XIX съезда выбран Волгоград – город с героической историей, один из крупнейших центров химической промышленности России. На территории Волгограда и Волгоградской области работают такие компании, как «Лукойл», «Минерально-химическая компания Евро-Хим», «Никохим», «Русал», «Сибур-Холдинг», а также предприятия «Волжский оргсинтез», объединение «Химпром» и многие другие учреждения химической отрасли.

XIX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии проходил с 25 по 30 сентября 2011 г. Как известно, 2011 г. объявлен 63-й сессией Генеральной Ассамблеи ООН Международным годом химии, девиз которого «Химия – наша жизнь, наше будущее». В рамках Года химии на международном и национальных уровнях проходят различные мероприятия, в том числе связанные

со столетием присуждения Нобелевской премии по химии М. Кюри и ролью женщины в развитии науки, а также 100-летием Первой Международной ассоциации химических обществ и значением международного сотрудничества ученых и их организаций.

Традиционно тематика Менделеевских съездов охватывает основные направления развития химической науки, технологии, промышленности и химического образования. Эти направления обсуждались на съезде: на его пленарных и секционных заседаниях, сателлитных симпозиумах, круглых столах. В период проведения съезда прошли выставки химических приборов, оборудования, технологических разработок и химической литературы.

В работе съезда приняли участие академик И. И. Лиштван и зам. директора кандидат химических наук А. Э. Томсон.

Открытие съезда состоялось 26 сентября в Центральном концертном зале. Здесь же проходили и пленарные заседания, на которых выступали известные ученые с докладами по приоритетным направлениям химии. Среди них:

- академик С. М. Алдошин – вице-президент РАН (Институт проблем химической физики РАН) («Достижения и инновационные перспективы химической науки»);
- профессор А. Yonath – лауреат Нобелевской премии по химии, 2009 (Weizman Institute, Israel) («The amazing Ribosome»);
- член-корр. РАН И. А. Новаков (Волгоградский государственный технический университет) («Основные направления развития химической науки и промышленности Нижневолжского региона»);
- академик Ю. А. Золотов (Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН) («Российская химия: сквозь призму времени»);
- профессор Jin.-I. (Korea University, Korea) («High Temperature, organice Ferromagnetic Compositions»);
- академик Ю. Д. Третьяков (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) («Нанореволюция в химии и технологии»);
- профессор T. Torres (Autonoma University of Madrid, Spain) («Phthalocyanines for Molecular Photovoltaics»);
- академик И. И. Моисеев (Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, Москва, Россия) («Основной органический синтез – от Н. Н. Зинина до наших дней»);



Участники XXI Менделеевского съезда по общему и прикладной химии. 25–30 сентября 2011 г. Россия, г. Волгоград

- академик Е. Н. Каблов (ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» ГНЦ РФ, Москва) («Материалы и химические технологии для авиационно-космической техники»);
- академик М. А. Островский (Институт биохимической физики им. Н. М. Эммануэля РАН) («Фотохимия и молекулярная физиология зрения»);
- член-корр. С. Д. Варфоломеев (Институт биохимической физики им. Н. М. Эммануэля РАН) («Химия и инженерия биологического катализа»);
- академик В. А. Стоник (Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г. Б. Елякова РАН, Владивосток) («Новые природные соединения, структуры и биологическая активность»);
- академик В. Н. Пармон (Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, Новосибирск) («Проблемы катализа в химии»);
- академик С. М. Хаджиев (Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН) («Синтез и применение наноразмерных гетерогенных катализаторов – перспективное направление реализации нанотехнологий в химии и нефтехимии»);
- член-корр. Н. П. Тарасова (Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва) («Зеленая химия в контексте устойчивого развития»).

Всего заслушано 29 пленарных докладов, в том числе 9 из них сделаны зарубежными учеными (Израиль, Корея, Испания, Франция, США, Германия, Италия, Канада).

Секционные заседания проходили в Волгоградском государственном техническом университете, Волгоградском государственном социально-педагогическом университете, Волгоградском государственном медицинском университете, Волгоградской академии государственной службы, Волгоградском планетарии. Работало восемь секций:

- «Фундаментальных проблем химической науки»;
- «Химия и технология материалов, включая наноматериалы»;

- «Физико-химические основы металлургических процессов»;
 - «Актуальные вопросы химического производства, оценка технических рисков»;
 - «Химические аспекты современной энергетики и альтернативные энергоносители»;
 - «Химия ископаемого и возобновляемого углеводородного сырья»;
 - «Аналитическая химия: новые методы и приборы для химических исследований и анализа»;
 - «Химическое образование».
- Работали также круглые столы:
- «Проблемы химического образования в России»;
 - «Взаимодействие химической науки и бизнеса».

На секционных заседаниях сделаны доклады:

И. И. Лиштван. «Химия и энерготехнологическая переработка твердых горючих ископаемых Беларуси»;

А. Р. Цыганов, А. Э. Томсон. «Формированиеnanoструктурированных элементов углерода в продуктах термообработки металлсодержащих форм торфа».

Тезисы докладов участников съезда изданы отдельно на русском и английском языках и объединены в 4 тома.

Во время съезда состоялись съезд Российского химического общества им. Д. И. Менделеева, а также встреча представителей от учредителей Союза химических обществ им. Д. И. Менделеева, на которой рассматривались вопросы его деятельности.

Участники съезда, а их было около 3000 человек, разместились в 10 гостиницах, расположенных в центральной части города-героя Волгограда.

В заключение следует отметить, что все службы оргкомитета съезда работали четко и со своими задачами справились достойно.

**Академик И. И. Лиштван,
участник съезда**

**Памяти замечательного коллеги и
выдающегося специалиста в области торфа
Александра Петровича Гаврильчика**

Гаврильчик Александр Петрович родился 25 декабря 1935 г. в крестьянской семье в деревне Краснобережская Слобода Жлобинского района Гомельской области.

В 1959 г. окончил Белорусский политехнический институт по специальности «Разработка торфяных месторождений» и начал трудовую деятельность начальником участка по добыче торфа на торфопредприятии «Смолевичское».

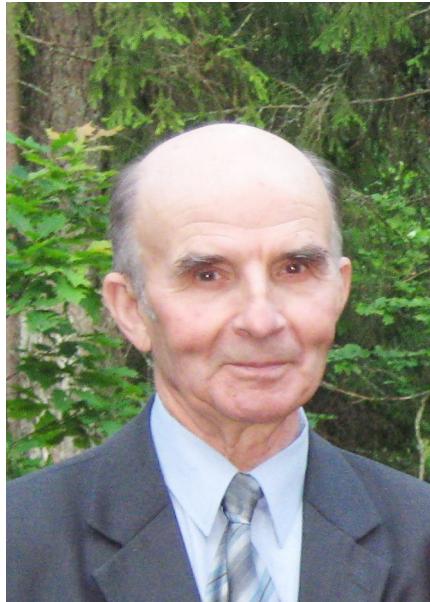
Это было время, когда торфяное топливо являлось главным энергоресурсом крупных теплоэлектростанций и его добыче, как природного ископаемого, уделялось много внимания. Поиски новых путей совершенствования технологий

торфяного производства привели Александра Петровича в 1962 г. в аспирантуру Института торфа АН БССР, после окончания которой он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование свойств торфяной залежи при разработке ее машинами со щелевой экскавацией». Это направление обеспечивало более высокую эффективность использования запасов торфа в залежи, а также ее дренирование, улучшало в значительной степени физико-механические и фильтрационные свойства.

В 1972 г. Александр Петрович утвержден в звании старшего научного сотрудника, а в 1977 г. избран заведующим лаборатории с изменяющимися названиями, но связанными с проблемами торфа.

В 1987 г. Александр Петрович защитил докторскую диссертацию «Регулирование свойств торфа и новые технологии при хранении и переработке». Им предложены и реализованы на практике способы снижения потерь торфа при саморазогревании и самовозгорании, новые технологии их хранения.

Научная деятельность Александра Петровича связана с задачами эффективного освоения торфяных ресурсов республики. В сфере его научных интересов было углубленное изучение состава торфяных систем, физико-химические превращения торфа на различных стадиях его добычи и переработки; много внимания уделено разработке ресурсосберегающих технологий ос-



воения торфяных месторождений и комплексной переработке торфа с получением новых научно-исследовательских продуктов и материалов.

Если обобщить опубликованные работы, а их около 300, то можно выделить ряд основных научных направлений в его биографии. Это физико-химические превращения торфа и его компонентов при техногенном воздействии: технологии ресурсосберегающего освоения торфяных месторождений и комплексной переработки торфа; способы получения торфяного сырья и торфяной продукции с заданными свойствами; сырьевые ре-

сурсы республики и рациональные технологии и направления использования; распределение торфяных ресурсов по целевым фондам.

Большой заботой в работе Александра Петровича были вопросы практического использования полученных результатов. Им предложена новая технология хранения торфяной продукции, с его участием в объединении «Смоленскторф» РФ построен цех по получению торфяного красителя, на торфопредприятии «Зеленый Бор» создан и работает цех по производству жидких гуминовых удобрений с микроэлементами для внекорневой подкормки растений.

В своей практической работе Александр Петрович много внимания уделял новым технологиям ресурсосберегающего использования торфяных месторождений, новым подходам к сырьевым ресурсам республики и эффективным направлениям их освоения в настоящее время.

Александр Петрович в деталях знал состояние дел в торфяной отрасли, был желанным участником многих мероприятий на торфопредприятиях, считался энциклопедистом торфяного дела в нашей республике.

Светлая память о нем сохранится в сердцах всех, кто знал его, работал рядом и участвовал в подготовке многих важных постановлений и решений по горному делу и освоению месторождений полезных ископаемых нашей страны.

И. И. Лиштван, Л. С. Лис

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

В сборнике публикуются статьи теоретического, методического и научно-технического характера, содержащие оригинальный материал исследований автора(ов), учитывающий современную литературу и ранее нигде не опубликованный.

В статье должно быть освещено современное состояние вопроса, описание методики исследований и обсуждение результатов.

Редакция не принимает в один выпуск сборника более двух статей с участием одного автора.

Материал дается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- инициалы и фамилии авторов;
- название;
- аннотация — короткая информация об основных идеях и результатах (5–6 строк);
- основной текст;
- список литературы;
- название организации;
- список подрисуночных подписей;
- рефераты на русском и английском языках (примерно по 1/2 страницы каждый) с полным названием подаваемой публикации, именами, отчествами и фамилиями авторов на соответствующих языках.

Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи – не более 40 000 знаков, количество иллюстраций – не более 3–4.

Правила оформления:

- поля – верхнее и нижнее по 2,5 см, левое и правое по 2 см;
- текст – шрифт Arial размером 11 пунктов, межстрочный интервал – полуторный (страницы не нумеровать!);
- таблицы – шрифт Arial размером 9 пунктов; название **жирным**; в числах целая и дробная часть должны быть разделены десятичной запятой, а не точкой;
- формулы выполняются с помощью редактора формул Word Equation;
- рисунки – четкие, не размытые, надписи не должны быть сделаны «от руки», формат – не более А4. Рисунки, выполненные в одном из графических форматов, представляются отдельным файлом (не внедренным в Word). Разрешение для цветных рисунков – 300 dpi, графический формат – tif. Подпись к рисунку должна быть отдельно от рисунка – шрифт Arial 9 пунктов **жирный** по центру; условные обозначения на рисунке нумеруются цифрами, разъяснение которых обязательно дается под подписью к рисунку;
- список литературы – в алфавитном порядке и нумеруется. Номера ссылок по тексту приводятся в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. В списке должны быть указаны: книга – фамилия и инициалы автора, полное название, год издания; статья – фамилия и инициалы автора, название периодического издания, год, номера страниц.

Не допускается повторения одних и тех же данных в тексте, таблицах и на иллюстрациях.

В конце статьи указывается фамилию, имя, отчество (полностью) автора, с которым редакция будет решать возникшие вопросы по статье, его адрес, телефон, факс, E-mail.

Для авторов из других организаций необходимо представить сопроводительное письмо на имя редакколегии сборника «Природопользования» на фирменном бланке организации.

Рецензирование, научное и литературное редактирование статей организует редакция. Доработанный после замечаний рецензента вариант статьи необходимо возвратить в редакцию вместе с пояснительным письмом о проделанной работе для последующего редактирования. Исправленный вариант статьи с редакционными пометками и приложенным к нему электронным вариантом передаются для окончательной верстки.

Авторское вознаграждение за издание статей в сборнике не начисляется.

Авторам и соавторам передается по экземпляру сборника.

Адрес редакции сборника «Природопользование»:

220114 Минск, ул. Ф. Скорины, 10.

Факс: +375(17) 267-24-13. Телефон: +375 (17) 267-26-32.

Веб-сайт: <http://ecology.basnet.by/sbornik.html>.

E-mail: nature@ecology.basnet.by.

Научное издание
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Сборник научных трудов
Выпуск 20

Редактор *А. В. Новикова*
Компьютерная верстка *Н. В. Данькова, Т. Н. Козловская*

Подписано в печать 06.12.2011. Формат 60x90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,6. Уч.-изд. л.13,34.
Тираж 150 экз. Заказ № 3238.

Издатель и полиграфическое исполнение РУП «Минсктиппроект».
ЛИ № 02330/0549410 от 08.04.2009.
ЛП № 02330/0494102 от 11.03.2009.
Ул В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск.