
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный технологический университет»



ISSN 2221-951X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего *плюс***

Периодическое научное издание

Серия: Экология

09(13)/2013
Том 1

Пенза
ПензГТУ
2013

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

«XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего ^{плюс}» :
Периодическое научное издание. – Пенза : Изд-во Пенз. гос.
технол. ун-та, 2013. – № 09(13). – Т. 1. – 238 с.

Решением Президиума ВАК при Минобрнауки России
№ 8 /13 от 2 марта 2012 г. журнал включен в Перечень рецензи-
руемых научных журналов и изданий для опубликования
основных научных результатов диссертаций.



Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Penza State Technological University

ISSN 2221-951X

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

**"XXI century: Resumes of the Past
and Challenges of the Present_{plus}"**

Scientific Periodical

Series: Ecology

09(13)/2013

Volume 1

Penza
PenzSTU
2013

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

Series: Ecology

«XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus» : Scientific periodical. – Penza : PenzSTU Publishing House, 2013. – № 09(13). – V. 1. – 238 c.

The journal is included in the List of reviewed scientific journals and editions for publishing principal scientific theses results approved by the Resolution of the Presidium of the Supreme Certification Commission of the Ministry of Education and Science of Russia (№ 8/13, March 2nd, 2012).



Содержание

СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФИТОЦЕНОЗОВ ВЕРХНЕГО ПЛАТО ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ В ПРЕДЕЛАХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ 12

- © Н.А. Леонова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
- © С.Н. Артёмова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
- © Д.А. Кулакова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)

СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ НА ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ ПЕНЗЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 19

- © А.Г. Горохова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
- © А.И. Иванов, Пензенская ГСХА (г. Пенза, Россия)
- © А.А. Костычев, РЦГЭКиМ по Пензенской области (г. Пенза, Россия)

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА ПОЧВООБИТАЮЩИХ РАКОВИННЫХ АМЕБ В ЛЕСОСТЕПНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ 25

- © А.С. Трулова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
- © Е.А. Ембулаева, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
- © Ю.А. Мазей, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ КОРМОВЫХ БОБОВ В УСЛОВИЯХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ 33

- © О.А. Тимошкин, ГНУ “Пензенский НИИСХ” Россельхозакадемии
(г. Пенза, Россия)
- © Н.И. Остробородова, Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)
- © О.И. Уланова, Пензенская государственная сельскохозяйственная
академия (г. Пенза, Россия)

**БИОИНДИКАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЫШЬЯКОМ
И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ39**

- © А.Г. Горохова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
- © А.И. Иванов, Пензенская ГСХА (г. Пенза, Россия)
- © О.В. Скобанева, ФБУ ГосНИИЭНП Региональный центр
государственного экологического контроля и мониторинга
по Пензенской области (г. Пенза, Россия)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИ
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ, ЭКОЛОГИИ,
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕДИЦИНЕ**

**МЕТОДИКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭКОСИСТЕМ47**

- © И.А. Прошин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
- © Р.Д. Прошина, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
- © П.В. Сюлин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ЧИСЛА И ИНДЕКСЫ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ58

- © О.А. Логвина, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
- © Ю.О. Логвин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

**СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ
МУЛЬТИДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ
С ПОСТУРАЛЬНЫМ ДЕФИЦИТОМ64**

- © Т.В. Истомина, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
- © И.А. Филатов, ООО “БИОСОФТ-М” (г. Москва, Россия)
- © А.И. Сафронов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
- © В.В. Истомин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
- © Д.А. Загребин, ООО “БИОСОФТ-М” (г. Москва, Россия)
- © Д.М. Пучиньян, ФГБУ ВПО СарНИИТО (г. Саратов, Россия)
- © А.В. Кондрашкин, ФГБУ ВПО СарНИИТО (г. Саратов, Россия)
- © С.А. Карпицкая, ГБОУ ДПО “Пензенский институт
усовершенствования врачей” (г. Пенза, Россия)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТЕЛ ... 71

- © *А.В. Киреев, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*
- © *Э.Р. Эмурлаева, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ БАРАБАННЫМ СМЕСИТЕЛЕМ 77

- © *В.В. Коновалов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*
- © *Н.В. Димитриев, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*
- © *А.А. Курочкин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*
- © *Г.В. Шабурова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ 85

- © *Т.В. Истомина, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*
- © *О.А. Меццержков, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

К ВОПРОСУ ПРИМЕНИМОСТИ ПРИБЛИЖЕННОЙ ТЕОРИИ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ЗАМЕЩЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПИВОВАРЕНИИ 90

- © *В.В. Коновалов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*
- © *С.В. Родин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ 98

- © *М.А. Сидорова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*
- © *С.Ю. Костенков, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*
- © *Д.С. Осипов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

**МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА
СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОВ
ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ПАЦИЕНТОВ 105**

- © М.А. Сидорова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© П.К. Строков, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ
СЫВОРОТКИ КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ С ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ
БОЛЕЗНЬЮ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР) 110**

- © Н.Ю. Келина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© Т.Ю. Мамелина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© О.А. Куликова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© С.Н. Чичкин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ТЕХНОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ
ПАЦИЕНТОВ С ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ
НА ОСНОВЕ ИММУНОБИОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
СЫВОРОТКИ КРОВИ 116**

- © Н.Ю. Келина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© В.В. Пикулин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© Т.Ю. Мамелина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© С.Н. Чичкин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ
АНАЛИЗОВ КРОВИ ПРИ СКРИНИНГОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ
ПАТОЛОГИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ 121**

- © М.А. Сидорова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© Н.А. Сержантова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УЩЕРБА ОТ ЛЕСНЫХ
ПОЖАРОВ В РЕГИОНЕ 127**

- © Н.А. Черняева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© В.Ф. Шишов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ: НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО ПО СОСТАВУ СПЛАВА ОЛОВО-ЦИНК КАК АЛЬТЕРНАТИВА КАДМИЕВОМУ ПОКРЫТИЮ 135

- © К.Р. Таранцева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© А.Д. Николотов, ФГУП ФНПЦ «ПО «СТАРТ им. М.В. ПРОЦЕНКО»» (г. Заречный, Пензенская область, Россия)
© Э.Р. Эмурлаева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

РЕЦИКЛИНГ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ 140

- © Н.И. Зубрев, Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) (г. Москва, Россия)
© М.В. Устинова, Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) (г. Москва, Россия)

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ 144

- © И.А. Прошин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© П.В. Сюлин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

СИСТЕМА УЧЁТА АКУСТИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА САМОЛЁТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВИАЦИИ В НОЧНОЕ ВРЕМЯ 156

- © Н.И. Николайкин, Московский государственный технический университет гражданской авиации (г. Москва, Россия)
© Ю.А. Большунов, Открытое акционерное общество «Аэрофлот – Российские авиалинии» (г. Москва, Россия)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ СОЕДИНЕНИЙ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМА 163

- © К.Р. Таранцева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© А.А. Сергунов, ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт им. М.В.Проценко»» (г. Заречный, Пензенской области, Россия)
© А.Д. Николотов, ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт им. М.В.Проценко»» (г. Заречный, Пензенской области, Россия)

**ВЛИЯНИЕ РИЗОТОРФИНА НА СИМБИОТИЧЕСКУЮ
АЗОФИКСАЦИЮ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИКИ ПРИ
ВЫРАЩИВАНИИ НА ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ЧЕРНОЗЁМЕ 167**

- © Н.И. Аканова, ГНУ ВНИИ Агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
(г. Москва, Россия)
© Е.Д. Двойникова, ГНУ ВНИИ Агрохимии им. Д.Н. Прянишникова,
(г. Москва, Россия)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ
НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ1 173**

- © А.Н. Бормотов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© М.В. Кузнецова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© Е.А. Колобова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД В ПРОСТРАНСТВЕ
ВЕКТОРА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 183**

- © И.А. Прошин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© П.В. Сюлин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ РИСА 190

- © А.Х. Шеуджен, ГНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт риса (г. Краснодар, Россия)
© О.А. Гуторова, ГНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт риса (г. Краснодар, Россия)
© Н.И. Аканова, ГНУ Всероссийский научно-исследовательский
институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (г. Москва, Россия)

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МИНЕРАЛЬНОГО
УДОБРЕНИЯ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ “МЕГАМИКС” 195**

- © С.В. Кизинёк, ФГУП РПЗ “Красноармейский” им. А.И. Майстренко
Россельхозакадемии (г. Краснодар, Россия)
© А.Н. Бурунов, ООО “СТИМУЛ” (г. Бор, Нижегородская область, Россия)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ТУРОВОГО МОНИТОРИНГА
КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПАХОТНЫХ ПОЧВ 206**

- © Н.А. Комарова, ФГБУ ЦАС “Владимирский” (г. Владимир, Россия)
© В.И. Комаров, ФГБУ ЦАС “Владимирский” (г. Владимир, Россия)

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НИТРОАММОФOSКИ
С АНТИСЛЁЖИВАЮЩИМИ ДОБАВКАМИ
В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ 217**

- © С.В. Кизинек, ФГУП РПЗ “Красноармейский” им. А.И. Майстренко
(г. Краснодар, Россия)
© М.В. Таук, ОАО Акрон (г. Великий Новгород, Россия)
© А.Х. Шеуджен, ГНУ ВНИИ риса (г. Краснодар, Россия)
© Н.И. Аканова, ГНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова (г. Москва, Россия)
© И.И. Николаева, ОАО Акрон (г. Великий Новгород, Россия)

ПРОФИЛАКТИКА ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ 226

- © О.А. Логвина, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© С.Ю. Ефремова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 581.5

ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФИТОЦЕНОЗОВ ВЕРХНЕГО ПЛАТО ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ В ПРЕДЕЛАХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

© *Н.А. Леонова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)*

© *С.Н. Артёмова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)*

© *Д.А. Кулакова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)*

ECOLOGIC-COENOTIC STRUCTURE PHYTOCENOSES OF THE UPPER PLATEAU OF THE VOLGA UPLAND WITHIN THE PENZA REGION

© *N.A. Leonova, Penza State University (Penza, Russia)*

© *S.N. Artemova, Penza State University (Penza, Russia)*

© *D.A. Kulakova, Penza State University (Penza, Russia)*

Растительный покров верхнего плато Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области представлен формациями сосновых, дубовых, осиновых, березовых и ольховых лесов. Выделено шесть эколого-ценотических вариантов напочвенного покрова. Отмечена приуроченность основных лесных формаций к элементам рельефа.

Ключевые слова: растительный покров, Приволжская возвышенность, формации, эколого-ценотические группы, ландшафт.

The vegetation cover of the upper plateau of the Volga Upland within Penza presented vegetation formations of pine, oak, aspen, birch and alder forests. Allocated 6 ecologic-coenotic variants ground layer of vegetation. Marked by main forest formations are confined to the elements of the relief.

Key words: vegetation, Volga Uplands, vegetation formation, ecologic-coenotic groups, landscape.

E-mail: na_leonova@mail.ru; art-serafima@yandex.ru; DA.Kulakova@mail.ru

Ландшафтная провинция лесостепного Поволжья делится на ландшафты нижнего плато (преимущественно степные) и верхнего плато (преимущественно лесные). Ландшафты верхнего плато, расположенные в восточной части Пензенской области, сформировались под влиянием особого позиционного фактора: имеют наибольшие высоты (280–320 м), сильно пересеченный ре-

льеф, сложены рыхлыми породами палеогена и четвертичных отложений, не подвергались оледенению. Для Пензенской области эта залесённая территория имеет большое средоформирующее и ресурсовоспроизводящее значение.

Сбор материала осуществлялся в течение 2009–2012 гг. при маршрутных и стационарных исследованиях. С учетом видовой принадлежности доминантов древесного яруса все геоботанические описания были разделены на следующие формации: 1) сосняки – эдификатор древостоя *Pinus sylvestris*, 2) дубравы – с доминированием *Quercus robur*, 3) осинники – с преобладанием *Populus tremula*, 4) березняки – с доминированием *Betula pendula* и *B. pubescens*, 5) ольшаники (черноольшаники) – с преобладанием *Alnus glutinosa*. Классификация растительности осуществлялась по доминантному принципу с учетом ценоотических групп видов. Структурное разнообразие сообщества оценивалось по соотношению эколого-ценоотических групп (ЭЦГ) видов в составе растительного покрова. Были выделены следующие группы сосудистых растений: неморальная – Nm, бореальная – Br, боровая – Pn, нитрофильная – Nt; группа видов растений разных лугов и степей – Md; болотно-водная – Wt.

Типизацию ландшафтной структуры проводили с учетом общих принципов классификации, разработанных Д.Л. Армандом [1], и подходов к среднемасштабному картографированию Ф.М. Милькова [2].

В пределах верхнего плато Приволжской возвышенности все ландшафты объединены в группу эрозионно-денудационных возвышенных равнин [3]. Особенности литогенной основы верхнего плато Приволжской возвышенности (большая амплитуда высот, легкопроницаемые породы палеогена, глубокое залегание грунтовых вод, широкое распространение лесовидных и солифлюкционных делювиальных отложений) способствуют тому, что основными процессами ландшафтоформирования являются эрозионные, суффозионные и реже солифлюкция.

В результате типологической классификации было выделено шесть типов местности и в результате индивидуально-регионального районирования – пять физико-географических районов: 1 – Засурский, 2 – Кададино-Сурский, 3 – Кададино-Узинский, 4 – Инзенский, 5 – Сурско-Вьясский.

Анализ территориальной организации ландшафтов позволяет сделать вывод о вертикальной ярусности геосистем и закономерных латеральных связях. Вертикальная ярусность обусловлена строением литогенной основы ландшафтов, климатическими и почвенно-геоботаническими условиями. Пересеченный рельеф верхнего плато создает многообразие жизненных условий (крутизна и экспозиция склонов, распределение рыхлых делювиальных наносов, выход на поверхность водоносных горизонтов) и разнообразие растительного покрова.

Северная часть верхнего плато (правобережье Суры) благодаря расчлененному рельефу, рыхлым почвогрунтам и положительному балансу влаги занята преимущественно лесными ландшафтами (Засурский, Верхнесурский, Инзенский). Южная часть (левобережье Суры) сложена преимущественно суглинистыми четвертичными отложениями, имеет отрицательный баланс влаги, поэтому здесь большая доля степных ландшафтов.

Первый высотный ярус с лесными ландшафтами прослеживается на денудационной поверхности выравнивания олигоценного возраста с изолированными участками междуречий на высоте 290–320 м. Это останцово-водораздельный тип местности. Осевая часть и верхние коренные склоны сложены доледниковыми эоплейстоценовыми делювиально-лессовидными отложениями (суглинки и супеси), которые окаймляют выступы коренных пород палеогена (пески, опоки, песчаники, диатомиты). Характерной чертой плакорных и пологих приводораздельных поверхностей является широкое распространение западинных форм рельефа, имеющих суффозионное происхождение. Климат высокого плато по сравнению с климатом низкого плато более холодный и влажный, т.е. более “осеверенный”. Такое “осеверение” климата в сочетании с кремнеземными бескарбонатными легкопроницаемыми породами палеогена способствует развитию процесса оподзоленных почв (светло-серые, серые, темно-серые), глубокому залеганию грунтовых вод.

Растительный покров представлен, в основном, хвойными (сосновыми), хвойно-широколиственными, широколиственными лесами и производными сообществами – осинниками и березняками, формирующимися после рубок, пожаров. Распределение фитоценозов имеет тесную связь с мезоформами рельефа.

В пределах этой высотной ступени преобладающим типом рельефа являются слабоволнистые водоразделы и приводораздельные коренные склоны верхнего плато. Они заняты *Pineta borealiherbosa* (P-Br) – сосняками бореальными (рис. 1), доминирующие ассоциации – разнотравная и разнотравно-молиневая. Древесный ярус образован *Pinus sylvestris* с незначительным участием *Betula pendula*. Кустарниковый ярус выражен слабо (ОПП не более 5–7 %) из *Euonymus verrucosa*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют: *Orthilia secunda*, *Calamagrostis arundinacea*, *C. epigeios*, *Rubus saxatilis*, *Vaccinium myrtillus*, *Chimaphila umbellata*, *Molinia caerulea*, с высоким постоянством встречаются *Pyrola rotundifolia*, редкие для области виды – *Lycopodium annotinum*, *L. clavatum*, *Vupleurum aureum*, *Adenophora lilifolia*. В 70 % описаний отмечено наличие мохового яруса из *Polytrichum commune*, *Dicranum scoparium*.

Леса с преобладанием березы (*Betula pendula*, *B. pubescens*) в комплексах верхнего плато занимают второе место по площади после сосняков. Значительные площади заняты *Betuleta nemoralo-borealiherbosa* (B-Nm-Br) – березняками неморально-бореальными, доминирующие ассоциации: разнотравно-тростниково-вейниковая, разнотравно-черничниковая. Древесный ярус образован *Betula pendula*. В подлеске встречается редкий для области вид – *Daphne mezereum*, а также *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus*, изредка *Lonicera xylosteum*. В травяно-кустарничковом ярусе высококонстантны виды бореальной и неморальной ЭЦГ: *Vaccinium myrtillus*, *Calamagrostis arundinacea*, *Lycopodium clavatum*, *Carex pilosa*, *Convallaria majalis*.

Редко в сходных условиях формируются *Querceta nemoralis* (Q-Nm) – дубравы неморальные. Доминирующая ассоциация – волосистооосоквая. Древесный ярус образован *Quercus robur* с участием *Populus tremula*, *Tilia*

cordata. В ярусе кустарников *Euonymus verrucosa*, *Corylus avellana* с невысоким обилием. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды неморальной ЭЦГ: *Carex pilosa*, *Lathyrus vernus*, *Convallaria majalis*, *Aegopodium podagraria*, высокое постоянство имеют виды бореальной ЭЦГ: *Maianthemum bifolium*, *Gymnocarpium dryopteris* (редкий для области папоротник), *Rubus saxatilis*.

Редко встречаются *Tremuleta nemoralo-borealiherbosa* (Pp-Nm-Br) – осинники неморально-бореальные, доминирующая ассоциация – ландышево-разнотравная. Древесный ярус образован *Populus tremula* с участием *Quercus robur*. Ярус кустарников не выражен (ОПП не более 10–15 %), из *Euonymus verrucosa*, *Lonicera xylosteum*. Характерен интенсивный подрост неморальных видов деревьев: *Tilia cordata*, *Acer platanoides*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды бореальной и неморальной ЭЦГ: *Calamagrostis arundinacea*, *Pyrola rotundifolia*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Maianthemum bifolium*, *Convallaria majalis*, *Carex pilosa*, *Stellaria holostea*, *Lathyrus vernus*.

Суффузионные западины с торфяно-глебовыми почвами болот заняты *Betuleta borealiherbosa* (B-Br) – березняками бореальными. Доминирующая ассоциация – черничниковая. Древесный ярус *Betula pubescens*, иногда с участием *Pinus sylvestris*. В подлеске *Daphne mezereum*, *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды бореальной ЭЦГ: *Vaccinium myrtillus*, *Calamagrostis arundinacea*, *Rubus saxatilis*, *Orthilia secunda*, с высоким постоянством встречаются *Molinia caerulea*, *Lycopodium clavatum*, изредка редкие для области – *Oxycoccus palustris*, *Drosera rotundifolia*. Характерно наличие мхов в напочвенном покрове (ОПП до 10 %): *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*, *Dicranum scoparium*, изредка видов рода *Sphagnum*.

По долинам ручьев и малых рек формируются *Alneta nitrophiliherbosa* (A-Nt) – ольшаники (черноольшаники) нитрофильные, доминирующая ассоциация – разнотравная. Древесный ярус образован *Alnus glutinosa*. В подлеске часто *Padus avium*, реже *Ribes nigrum*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды нитрофильной ЭЦГ: *Filipendula ulmaria*, *Scirpus sylvaticus*, *Lysimachia vulgaris*.

Вторая высотная ступень прослеживается на пологом приводораздельном склоне на высоте 240–290 м, сложенном рыхлыми породами палеогена, доледниковыми неоплейстоценовыми делювиальными, солифлюкционными и лессоидными четвертичными отложениями – приводораздельный склоновый тип местности.

Pineta pineticoliherbosa (P-Pn) – сосняки боровые – занимают небольшие по площади участки на верхних частях склонов северной, западной и восточной экспозиций. Доминирующая ассоциация – разнотравно-орляковая. Древесный ярус образован *Pinus sylvestris* иногда с редким участием *Betula pendula*, *Quercus robur* и *Tilia cordata*. Кустарниковый ярус образует *Euonymus verrucosa*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды боровой ЭЦГ как по числу видов, так и их обилию: *Pteridium aquilinum*, *Hieracium umbellatum*, *Polygonatum odoratum*, *Potentilla argentea*, *Pulsatilla patens*.

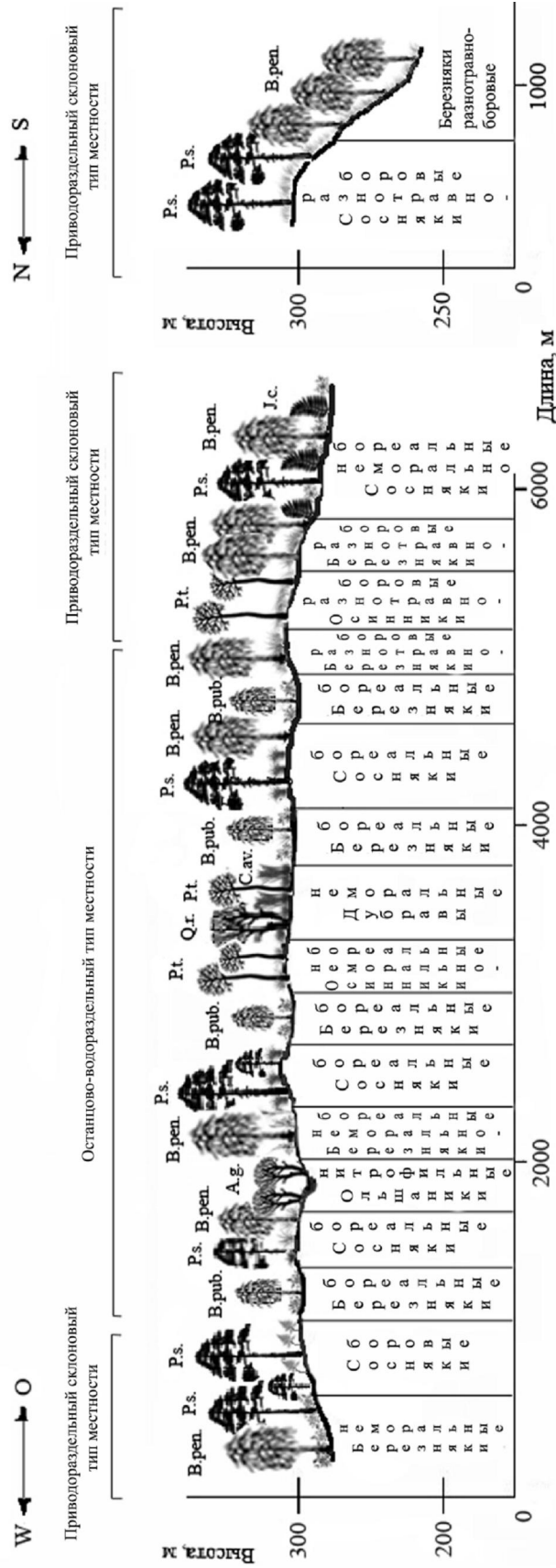


Рисунок 1 – Схема распределения растительных сообществ по профилям.

Виды деревьев и кустарников: *Q.r.* – *Quercus robur*, *P.s.* – *Pinus silvestris*, *P.t.* – *Populus tremula*, *B.rep.* – *Betula pendula*, *B.pub.* – *Betula pubescens*, *A.g.* – *Alnus glutinosa*, *C.av.* – *Corylus avellana*, *J.c.* – *Juniperus communis*

Верхние части крутых склонов южной экспозиции заняты *Pineta prato-pineticoliherbosa* (P-Md-Pn) – сосняками разнотравно-боровыми, доминирующая ассоциация – наземноейниковая. Древесный ярус разрежен и образован *Pinus sylvestris* иногда с редким участием *Betula pendula*. В подлеске *Chamaecytisus ruthenicus*. В травяно-кустарничковом ярусе (разрежен, общее проективное покрытие (ОПП) 20–40 %) отмечены виды растений разных лугов и степей и боровой ЭЦГ: *Calamagrostis epigeios*, *Carex praecox*, *Pulsatilla patens*, *Pimpinella saxifraga*, *Centaurea sumensis*, *Koeleria glauca* и другие. Характерны напочвенные лишайники – наиболее часто встречается *Cladonia rangiferina*.

Pineta nemoralo-borealiherbosa (P-Nm-Br) – сосняки неморально-бореальные) занимают пологие склоны разных экспозиций. Доминирующие ассоциации: разнотравно-черничниковая и ландышево-разнотравная. Древесный ярус образован *Pinus sylvestris* иногда с редким участием *Betula pendula*, *Tilia cordata*. Кустарниковый ярус образуют неморальный – *Euonymus verrucosa* и редкий для области бореальный вид кустарников – *Juniperus communis*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды неморальной и бореальной ЭЦГ: *Vaccinium myrtillus*, *Convallaria majalis*, *Equisetum sylvaticum*, с высоким постоянством встречаются *Fragaria vesca*, *Rubus saxatilis*, *Stellaria holostea*, *Lycopodium clavatum*, *Trientalis europaea*, *Maianthemum bifolium* и другие виды, у основания склонов с близким залеганием грунтовых вод часто встречается *Padus avium*.

По пологим склонам формируются *Betuleta nemoralis* (B-Nm) – березняки неморальные, доминирующая ассоциация – волосистоосоковая. Древесный ярус образован *Betula pendula*. В подлеске *Lonicera xylosteum*. Характерен подрост *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Ulmus glabra*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды неморальной ЭЦГ: *Carex pilosa*, *Galium odoratum*, *Convallaria majalis*, *Pulmonaria obscura*.

Значительно реже встречаются *Betuleta prato-pineticoliherbosa* (B-Md-Pn) – березняки разнотравно-боровые, которые занимают возвышенные выровненные поверхности и пологие склоны, преимущественно южной экспозиции. Группа объединяет следующие ассоциации: березняки наземноейниковые, березняки орляково-разнотравные. Древесный ярус разреженный (ОПП 0,4–0,5), образован *Betula pendula*, иногда с *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*. Кустарниковый ярус не выражен. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды растений разных лугов и степей и боровой ЭЦГ: *Calamagrostis epigeios*, *Fragaria vesca*, *Pteridium aquilinum*, *Poa angustifolia*, *Achillea millefolium*, *Stachys officinalis*.

Tremuleta prato-pineticoliherbosa (Pp-Md-Pn) – осинники разнотравно-боровые – приурочены к верхним частям склонов, доминирующая ассоциация – наземноейниковая. Древесный ярус образован *Populus tremula*. В подлеске *Frangula alnus*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Sorbus aucuparia*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды растений разных лугов и степей и боровой ЭЦГ: *Calamagrostis epigeios*, *Hieracium umbellatum*, *Geranium sanguineum*, *Veronica spicata*, *Achillea millefolium*, *Centaurea sumensis*.

На севере области (Инзенский физико-географический район) эрозийные процессы вскрыли карбонатные породы верхнемеловых отложений,

поэтому здесь формируются *Querceta nemoralis* (Q-Nm) – дубравы неморальные с ясенем. Доминирующие ассоциации – волосистоосоковая и разнотравная. Древесный ярус (ОПП 0,7–0,8) образован *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides*. Ярус кустарников образуют (ОПП не более 10 %) *Euonymus verrucosa*, *Lonicera xylosteum*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют неморальные виды: *Carex pilosa*, *Convallaria majalis*, *Aegopodium podagraria*, *Lathyrus vernus*, *Asarum europaeum*, *Mercurialis annua* и другие. Отмеченные два последних вида встречаются в ландшафтах верхнего плато только в Инзенском физико-географическом районе.

Таким образом, растительный покров ландшафтов верхнего плато Приволжской возвышенности представляет собой сочетание фитоценозов, относящихся к формациям сосновых, березовых, дубовых, осиновых и черноольховых лесов. Анализ геоботанических описаний показал, что напочвенный покров некоторых формаций имеет сходную эколого-ценотическую структуру. Было выделено шесть эколого-ценотических вариантов напочвенного покрова.

Для останцово-водораздельного типа местности характерны сообщества с доминированием в травяно-кустарничковом ярусе видов бореальной и неморальной ЭЦГ, для склонового – боровой, лугово-степной и неморальной.

В природных комплексах верхнего плато Приволжской возвышенности преобладают сосновые леса, которые имеют как искусственное, так и естественное происхождения. Второе место по площади после сосняков в комплексах верхнего плато занимают леса с преобладанием березы.

Современное состояние растительного покрова территории является результатом длительного хозяйственного воздействия на состав и структуру природных биогеоценозов. Все фитоценозы в значительной степени изменены хозяйственной деятельностью и находятся на разных стадиях сукцессий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте (основы теории и логико-математические методы). – М. : Мысль, 1975. – 287 с.
2. Мильков Ф.Н. Лесостепь Русской равнины. Опыт ландшафтной характеристики. – М. : Изд-во АН СССР, 1950. – 296 с.
3. Ямашкин А.А. Ландшафтная карта и пространственные закономерности природной дифференциации Пензенской области / А.А. Ямашкин, С.Н. Артёмова, Л.А. Новикова, Н.А. Леонова, Н.С. Алексеева // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 1. – С. 49–57.

**СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ
НА ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ ПЕНЗЕНСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА**

© *А.Г. Горохова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)*

© *А.И. Иванов, Пензенская ГСХА (г. Пенза, Россия)*

© *А.А. Костычев, РЦГЭКиМ по Пензенской области (г. Пенза, Россия)*

**CONTENT OF ARSENIC IN ENVIRONMENT OF CATCHMENT AREA
OF PENZA WATER STORAGE BASIN**

© *A.G. Gorokhova, Penza State University (Penza, Russia)*

© *A.I. Ivanov, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)*

© *A.A. Kostychev, Regional center of state ecological control and monitoring
(Penza, Russia)*

В статье представлены результаты изучения фоновых концентраций мышьяка в различных почвах на водосборной площади Пензенского водохранилища. Приведены фоновые значения содержания валовых форм мышьяка и его распределения по почвенному профилю исследованных почв. Рассмотрены некоторые аспекты проблемы нормирования мышьяка при контроле загрязнения почв. Установлено, что фоновые валовые концентрации мышьяка превышают ПДК и ОДК. Приведена оценка вероятности миграции мышьяка из почв мест уничтожения химического оружия в прошлом в другие природные среды.

Ключевые слова: мышьяк, фоновое содержание, почва, загрязнение, мониторинг, места уничтожения, химическое оружие.

The results of research of arsenic background contents in various soils of Penza water storage basin catchment area are discussed in the article. Background contents of total arsenic content and its distribution in soil profile of various soil variety of grey forest soils and slump-bog soils are described. Some aspects of arsenic setting problem at soil pollution control are considered. The fact that arsenic background contents are exceed maximum and tentatively permissible contents are considered. Estimation of probability of arsenic migration from places of destruction in past to other environmental components are determined.

Key words: arsenic, background content, soil, pollution, monitoring, places of destruction in past, chemical weapon.

E-mail: rcgekim@mail.ru

Мышьяк широко распространен в окружающей среде, является двадцатым элементом по содержанию в земной коре и относится к рассеянным элементам. Мышьяк характеризуется довольно однородным распределением в главных типах горных пород. Его концентрации, как правило, колеблются в пределах 0,5–2,5 мг/кг, и лишь в глинистых отложениях они относительно велики (13 мг/кг). Мышьяк редко находится в окружающей среде в свободном виде, в связанном виде встречается более чем в 200 минералов [2, с. 87].

В почвах содержание мышьяка составляет обычно от 0,1 до 40 мг/кг, но в области залегания мышьяковых руд, а также в вулканических районах в почве может содержаться очень много мышьяка – до 8 г/кг, как в некоторых районах

Швейцарии и Новой Зеландии. Фоновые уровни содержания мышьяка в верхнем горизонте почв, как правило, невелики, хотя и превышают в несколько раз его концентрации в горных породах. Средняя массовая доля мышьяка в почвах мира, установленная А.П. Виноградовым, составляет 5 мг/кг [2, с. 112]. Наиболее низкие уровни содержания мышьяка характерны для песчаных почв, в частности для разновидностей, формирующихся на гранитах. Его максимальные концентрации, как правило, связаны с аллювиальными почвами и почвами, обогащенными органическим веществом. Среднее содержание мышьяка в почвах бывшего СССР составляет: в черноземах 5,4–9,5 мг/кг; в каштановых почвах 4,5–8,0 мг/кг; в серых лесных 1,5–9,6 мг/кг; в подзолистых 1,2–3,0 мг/кг; в почвах тундры 1,3–3,0 мг/кг [2, с. 115]. Сведения о содержании мышьяка в почвах Пензенской области довольно ограничены [6, с. 135].

Мышьяк попадает естественным образом в окружающую среду в результате вулканических извержений и пожаров [16, с. 1720]. Мышьяк – активный водный мигрант, поступает в почву, выщелачиваясь из горных пород в процессе гипергенеза [4, с. 76]. Основные антропогенные источники мышьяка связаны с промышленной деятельностью (обработка металлов, переработка минералов серы и фосфора, сжигание угля, геотермальные электростанции, добыча полезных ископаемых) и использованием мышьяксодержащих пестицидов [14, с. 34].

В нашей стране оценку эколого-гигиенического состояния почв проводят с использованием таких нормативов, как предельно допустимые (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК). ОДК мышьяка зависит от гранулометрического состава и рН солевой вытяжки почвы. Для песчаных и супесчаных этот норматив составляет 2 мг/кг, для кислых с $\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,5$ (суглинистых и глинистых) – 5 мг/кг; для близких к нейтральным, нейтральных с $\text{pH}_{\text{KCl}} > 5,5$ (суглинистых и глинистых) – 10 мг/кг. В качестве ПДК мышьяка в почвах принят наиболее жесткий норматив – 2 мг/кг. Как указывалось выше, наблюдаемое валовое содержание мышьяка в неподверженных загрязнению почвах зачастую превышает эти значения.

Загрязнение окружающей среды мышьяком является одной из значимых экологических проблем современности [15, с. 22]. В связи с этим, целью данной работы было изучение содержания мышьяка в природных средах на водосборной площади Пензенского водохранилища. На первом этапе приоритетной задачей исследования было определение фоновых концентраций названного химического элемента в почвах района исследований, сведения о которых в настоящее время весьма ограничены [6, с. 135]. Исследования предполагали достаточное для статистической обработки количество точек пробоотбора для каждой почвы. Пробоотбор осуществлялся в процессе мониторинга в течение трех лет с частотой не менее двух раз в год (во втором и третьем квартале – в период отсутствия устойчивого снежного покрова). Для этого нами были выбраны пробные площадки с характерными для каждой почвенной разновидности условиями (материнская порода, растительность, рельеф и др. условия почвообразования). На каж-

дой из пяти пробных площадок были изучены морфологические особенности строения почвенного профиля, описание которых проводили в соответствии с ГОСТ 27593-88 [3, с. 6–12]. В результате были установлены средние фоновые значения содержания мышьяка в незагрязненных почвах, находящихся под лесной растительностью на территории водосборной площади Пензенского водохранилища.

В дальнейшем в задачи исследования входило определение содержания мышьяка в загрязненных почвах и оценка миграционной способности названного элемента в другие природные среды – природную воду, донные отложения и атмосферный воздух. Для этого нами были выбраны места прежнего уничтожения химического оружия (ХО) – территории, где отмечается многократное превышение средних концентраций этого химического элемента. На этих территориях в 50-60 гг. XX в. осуществлялось уничтожение боевых отравляющих веществ, в том числе люизита, продукты деградации и трансформации которого содержат мышьяк. Пробы атмосферного воздуха отбирались непосредственно на площадках уничтожения ХО. Пробы природной воды и донных отложений отбиралась в водотоках ручьев, находящихся на водосборной площади правобережья Пензенского водохранилища: Акулька, Жданка, Инра, Кичкилейка, Круглый, Лямзай.

Исследования проводились на базе Центральной экоаналитической лаборатории регионального Центра государственного экологического контроля и мониторинга по Пензенской области ФБУ “ГосНИИЭНП”. Для определения массовых концентраций валовых форм мышьяка в почвах и донных отложениях использовался метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии с волновой дисперсией. Принцип действия рентгенофлуоресцентного спектрометра основан на выделении характеристических линий флуоресцентного излучения исследуемого образца, возбуждаемого излучением острофокусной рентгеновской трубки, регистрации интенсивности этих линий и пересчета их в концентрации соответствующих элементов. Спецификой названного метода анализа является то, что он позволяет определять истинные валовые формы мышьяка. Определение осуществляли согласно методике измерений М049-П/04 при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра Спектроскан-Макс GF1E [9]. Для определения массовой концентрации мышьяка в пробах природной воды фотометрическим методом использовалась методика измерений ПНД Ф 14.1:2.49-96 “Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов мышьяка в природных и сточных водах фотометрическим методом с диэтилдитиокарбаматом серебра” [10]. Массовую концентрацию соединений мышьяка в атмосферном воздухе определяли фотометрическим методом согласно методике измерений МВИ №031-01-117-07 “Методика выполнения измерений массовой концентрации неорганических соединений мышьяка в воздухе фотометрическим методом” [11].

Нами были определены средние фоновые концентрации содержания мышьяка для некоторых разновидностей серых лесных почв и болотно-торфянисто-глеевой почвы (табл. 1).

Таблица 1 – Фоновые значения валовых концентраций мышьяка в почвах

Фоновая концентрация для всех почв (95 % процентиль)	ПДК /ОДК (валовое содержание, мг/кг)	Валовое содержание мышьяка, мг/кг				
		темно-серая средне-мощная тяжелосуглинистая	серая лесная контактно-луговая легкосуглинистая, развитая на двучленных наносах	светло-серая лесная супесчаная, средне-мощная	светло-серая лесная супесчаная, маломощная	болотно-торфянисто-глеевая маломощная
13	2/2*, 5**, 10***	6 и менее	8	11	14	17
Примечание: *песчаные и супесчаные почвы; **кислые (суглинистые и глинистые) почвы pH < 5,5; ***близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые) pH > 5,5						

В результате изучения среднего фонового содержания мышьяка в почвах установлена значительная вариабельность показателя для почвенного покрова района исследований. Максимальные фоновые концентрации мышьяка отмечены для болотно-торфянисто-глеевой маломощной почвы, что, вероятно, связано с фиксацией мышьяка нерастворимыми соединениями: оксидами железа, марганца и алюминия, образующимися в анаэробных восстановительных условиях, характерных для данной почвы. Кроме того, торфяной горизонт данной почвы представлен в основном органическим веществом, которое также способно прочно фиксировать мышьяк. Высокое содержание мышьяка отмечено также для почв с легким гранулометрическим составом: светло-серой лесной супесчаной, маломощной и светло-серой лесной супесчаной, средне-мощной. Для суглинистых почв содержание мышьяка было ниже фонового.

Одним из самых важных и неоднозначных вопросов оценки эколого-гигиенического состояния почв является проблема нормирования содержания в них химических элементов [1, с. 43; 5, с. 72]. В нашей стране данную оценку проводят с использованием таких нормативов, как предельно допустимые (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), которые устанавливаются гигиеническими нормативами ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2511-09, соответственно [12, 13]. ПДК валового содержания мышьяка в почвах составляет 2 мг/кг. Как показали результаты исследований, ПДК и ОДК не всегда являются наиболее объективными критериями (табл. 1). Так, среднее фоновое содержание мышьяка в незагрязненных почвах района исследований составило 13 мг/кг (7,5 ПДК), более того, для болотно-торфянисто-глеевой маломощной почвы этот показатель составил 17 мг/кг (8,5 ПДК). В отношении ОДК также зафиксированы превышения допустимой концентрации (1,1–7,0 ОДК).

Учитывая зафиксированные превышения нормативов ПДК и ОДК для незагрязненных почв и высокую вариабельность наблюдаемых фоновых концентраций в пределах подтипа почв, можно отметить, что необходимо проявлять определенную осторожность в процессе интерпретации

полученных в результате мониторинга данных. В целях получения надежных выводов о динамике эколого-гигиенического состояния почв следует проводить детальное изучение фоновых содержаний мышьяка для систематических единиц почв низкого ранга.

При контроле загрязнения почв важным динамическим параметром является характер распределения химических элементов по почвенному профилю, поэтому нами были изучены особенности распределения мышьяка по генетическим горизонтам (рис. 1). Изучение этого аспекта проблемы показало, что какие-либо общие закономерности в распределении мышьяка по почвенному профилю отсутствуют. Отмечено три основных варианта распределения.

Первый тип распределения мышьяка характеризуется максимальным содержанием названного элемента в иллювиальных горизонтах A_2B и B . Для второго типа распределения максимальное содержание мышьяка зарегистрировано в верхнем гумусированном горизонте. Третий тип распределения характерен для почв с максимальным содержанием мышьяка в материнской породе.



Рисунок 1 – Типы распределения мышьяка по горизонтам
(1 – 1 тип; 2 – 2 тип; 3 – 3 тип)

Содержание мышьяка в загрязненных почвах района исследований проводилось нами на местах прежнего уничтожения ХО. Названный участок находится в 10 км к востоку от г. Пензы, в 4 км к юго-западу от ст. Леонидовка. Он состоит из трех расположенных в непосредственной близости площадок общей площадью около 65800 м². В результате исследований, проведенных нами ранее, было установлено, что площадки являются местами уничтожения устаревших образцов химических боеприпасов ипритно-люизитной смеси, содержащей мышьяк. Они производились в конце 50-х – начале 60-х годов XX в. [7, с. 23]. Изучение содержания мышьяка в почвах площадок показало, что его концентрации значительно превышают предельно допустимые (табл. 2).

Нами изучалась возможность переноса соединений мышьяка с мест уничтожения ХО в прошлом в ручьи Кичкилейка и Жданка, водосборные площади которых связаны с загрязненными территориями. В качестве контроля пробы природной воды и донных отложений отбирались также в ручьях Акулька, Инра, Круглый и Лямзяй. Определение массовой концентра-

ции мышьяка в воде ручьев показало, что соединения названного элемента присутствуют в концентрациях, не превышающих нижний диапазон методики измерений: менее 0,05 мг/дм³. Содержание мышьяка в донных отложениях ручьев Кичкилейка и Жданка было на уровне, соизмеримом со значениями, наблюдаемыми для контрольных ручьев, и колебалось в диапазоне от 8 до 17 мг/кг.

Таблица 2 – Содержание мышьяка в почвах мест уничтожения ХО

Номер площадки	Содержание мышьяка, мг/кг
МПУ-1	1761 (880,5 ПДК)
МПУ-2	561 (280,5 ПДК)
МПУ-3	91 (45,5 ПДК)

Определение массовой концентрации мышьяка в приземных слоях атмосферного воздуха на площадках мест прежнего уничтожения ХО показало, что соединения названного элемента присутствуют в концентрациях, не превышающих нижний диапазон методики измерений: менее 0,00005 мг/м³.

Таким образом, изучение возможной миграции мышьяка из почв и грунтов с площадок мест прежнего уничтожения ХО показало, что в настоящее время переход мышьяка в атмосферный воздух и поверхностные водные объекты отсутствует или протекает в количествах, не фиксируемых при помощи химико-аналитических методов. Вероятно, это связано с тем, что со времени уничтожения ХО на данных площадках прошло более 60 лет и подвижные продукты деструкции, содержащие мышьяк, за длительный временной промежуток были вынесены из почв и грунтов за счет переходов “почва – атмосферный воздух” и “почва – природные воды”. Высокие концентрации названного химического элемента в почвах и грунтах самих площадок обусловлены прочнофиксированными формами мышьяка, для которых переход и миграция в другие природные среды возможен при сильном изменении окислительно-восстановительных условий, кислотности и других факторов.

Таким образом, изучение фонового содержания мышьяка в почвах показало, что разновидности серых лесных и болотно-торфянисто-глеевая почва отличаются друг от друга по содержанию данного элемента. Высокие валовые концентрации мышьяка характерны для болотно-торфянисто-глеевой маломощной почвы и серых лесных почв легкого гранулометрического состава. Установленные значения фоновых концентраций и их вариабельность могут быть использованы как исходные значения при осуществлении контроля загрязнения почв мышьяком. Кроме того, при изучении динамики контроля загрязнения почв необходимо учитывать, что для разных почв отмечаются различные типы распределения мышьяка по почвенному профилю. Изучение вероятной миграции мышьяка с загрязненных территорий показало, что в настоящее время переход его соединений в другие природные среды инструментально не фиксируется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова Ю.А. Тяжелые металлы в городских почвах / Ю.А. Антонова, М.А. Сафонова // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – № 11. – С. 43–44.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
3. ГОСТ 27593-88. Почвы. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 14 с.
4. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и техногенных системах. – М. : Наука, 1993. – 253 с.
5. Иванов А.И. Динамика содержания свинца, марганца и железа в почвах и поверхностных природных водах в 33М объекта уничтожения химического оружия / А.И. Иванов, Д.Ю. Ильин, А.А. Костычев // *Мониторинг природных экосистем*. – Пенза, 2008. – С. 68–73.
6. Иванов А.И. Мышьяк в серых лесных почвах Пензенской области / А.И. Иванов, А.А. Костычев // *Мониторинг природных экосистем*. – Пенза, 2009. – С. 134–137.
7. Иванов А.И. Обследование и экологическая реабилитация мест прежнего уничтожения химического оружия на территории Пензенской области / А.И. Иванов, В.М. Панкратов. – Пенза : ООО “Типография Тугушева”, 2006. – 75 с.
8. Иванов А.И. Фоновое содержание некоторых тяжелых металлов в серых лесных почвах / А.И. Иванов, А.А. Костычев // *Мониторинг природных экосистем*. – Пенза, 2010. – С. 166–169.
9. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. М049-П/04. – СПб. : ООО “НПО “Спектрон”, 2004. – 20 с.
10. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов мышьяка в природных и сточных водах фотометрическим методом с диэтилдитиокарбаматом серебра. ПНД Ф 14.1:2.49-96. – М. : ФГУ “ФЦАМ”, 2004. – 16 с.
11. Методика выполнения измерений массовой концентрации неорганических соединений мышьяка в воздухе фотометрическим методом. МВИ №031-01-117-07. – Саратов : ФГУ “ГосНИИЭНП”, 2007. – 19 с.
12. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.2511-09. Утв. Главным санитарным врачом РФ 18.05.2009. – Изд. офиц. – М. : ИИЦ Минздрава России, 2009. – 3 с.
13. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.2041-06. Утв. Главным санитарным врачом РФ 19.01.2006. – Изд. офиц. – М. : ИИЦ Минздрава России, 2006. – 15 с.
14. Azcue J.M. Arsenic: Historical perspectives. In: *Arsenic in the Enviroment, part 1: Cycling and characterization* / J.M. Azcue, J.O. Nriagu. – NY: John Wiley and Sons inc., 1994. – 124 p.
15. *Environmental Health Criteria 18: Arsenic*. – Geneva.: World Health Organisation, 1981 – 430 p.
16. Walsh P.R., *Considerations of the enrichment, sources, and flux of arsenic in the troposphere* / R.A. Duce, J.L. Fasching // *Journal of Geophysical Research*. – 1979. – Vol. 84, №4. – P. 1719-1726

УДК 593.11

**СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА
ПОЧВООБИТАЮЩИХ РАКОВИННЫХ АМЕБ В ЛЕСОСТЕПНЫХ
БИОГЕОЦЕНОЗАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

© *А.С. Трулова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)*

© *Е.А. Ембулаева, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)*

© *Ю.А. Мазей, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)*

**SEASONAL CHANGES OF SOIL-INHABITING TESTATE AMOEBAE
COMMUNITY IN THE FOREST-STEPPE ECOSYSTEMS OF THE
MIDDLE VOLGA**

© *A.S. Trulova, Penza State University (Penza, Russia)*

© *E.A. Embulaeva, Penza State University (Penza, Russia)*

© *Yu.A. Mazei, Penza State University (Penza, Russia)*

Исследовали сезонную динамику сообществ раковинных амёб в пяти основных типах биогеоценозов, характерных для лесостепи Среднего Поволжья: травяных экосистемах (луговые степи, остепненные луга, луга), кустарниковых экосистемах (миндальники, вишарники, молодые терновники), мелколиственных лесах (старовозрастные терновники, черемушники, осинники), широколиственных лесах (дубравах), хвойных лесах (сосняках сложных). Обнаружено 29 видов и форм раковинных амёб. Показано, что сообщества почвенных раковинных амёб в разнотипных лесостепных биогеоценозах Среднего Поволжья изменяются по-разному в течение сезона. В целом сезонный вектор сообщества выглядит как переход от специфических весенне-летних вариантов с преобладанием комплекса эврибионтных и бриофильно-гидрофильных видов к неспецифическим осенним состояниям с доминированием исключительно эврибионтных форм.

Ключевые слова: раковинные амёбы, сезонная динамика, структура сообщества, лесостепь.

Seasonal dynamics of soil-inhabited testate amoebae communities in five major types of forest-steppe ecosystems (namely grasslands, bushes, small-leaves, broad-leaves and coniferous forests) was investigated. 29 testate amoebae taxa were identified. Testate amoebae communities from different terrestrial ecosystems have their own pattern of seasonal development. Generally, communities are modified from peculiar spring types (with predominating of both eurybiont and hydrophilic and bryophilic species) towards nonspecific autumn types (with mass development of eurybiont taxa only).

Key words: testate amoebae, seasonal dynamics, community structure, forest-steppe.

E-mail: alisa.trulowa@yandex.ru; yurimazei@mail.ru

Раковинные амёбы являются одним из постоянных компонентов почвенных биоценозов и играют важную роль в почвенной биодинамике [4]. Эти организмы освоили почвенную среду обитания практически повсеместно и при благоприятных условиях хорошо представлены как в видовом, так и в количественном отношении. В умеренных широтах структура сообществ протистов характеризуется ярко выраженными сезонными изменениями [2, 3, 17, 19]. Однако работ, в которых бы анализировались закономерности се-

зонной динамики сообществ раковинных амёб, немного [6, 11, 12, 18, 20, 21]. Практически все исследователи, наблюдавшие за сезонной динамикой тестаций, отмечали существенные колебания численности раковинок с весенним пиком. Каждое из вышеприведенных исследований касалось анализа сезонных изменений в сообществах какого-либо одного типа биогеоценозов. Целью настоящей работы явилось выявление особенностей сезонной динамики сообщества почвообитающих раковинных амёб на небольшой эталонной для лесостепной зоны территории, включающей травяные, кустарниковые экосистемы, мелколиственные, широколиственные и хвойные леса. Все эти биогеоценозы являются неперменным элементом ландшафта лесостепи [13].

МАТЕРИАЛИ МЕТОДИКА

Работу проводили в течение 2007 г. на трех участках в Среднем Поволжье – Островцовской лесостепи, Присурской пойменной дубраве и Никоновском сосновом бору. Подробные описания биогеоценозов можно найти в следующих публикациях [7, 9, 14, 15]. Исследования сезонных изменений сообществ раковинных амёб проводили на примере пяти основных типов фитоценозов, характерных для лесостепи Среднего Поволжья: травяных экосистемах (луговые степи, остепненные луга, луга), кустарниковых экосистемах (миндальники, вишарники, молодые терновники), мелколиственных лесах (старовозрастные терновники, черемушники, осинники), широколиственных лесах (дубравах), хвойных лесах (сосняках сложных). В каждом типе фитоценозов было выбрано по три биотопа, в пределах каждого из них отбирались по три пробы из горизонта A_0 и верхних 2 см горизонта A_1 в конце мая, начале июля, конце августа, начале октября. Период между взятиями проб, таким образом, составлял около 1,5 месяцев.

Травянистые экосистемы располагались в пределах Островцовской лесостепи. Первая площадка – остепненный луг. Вторая площадка – луговая степь. Третья площадка – луг. Кустарниковые экосистемы располагались в Островцовской лесостепи. Первая площадка – миндальник. Вторая площадка – вишарник. Третья площадка – молодой терновник. Экосистемы мелколиственных лесов располагались в Островцовской лесостепи. Первая площадка – старовозрастной терновник. Вторая площадка – черемушник. Третья площадка – осинник. Экосистемы широколиственных лесов рассматривались на примере Присурской пойменной дубравы. Экосистемы хвойных лесов рассматривались на примере Никоновского соснового бора.

Пробы обрабатывались по стандартной методике [8], позволяющей проводить количественный учет раковинок. В каждой пробе было подсчитано не менее 100 экземпляров. Полученные величины численности раковинок пересчитывали на 1 г абсолютно сухого субстрата. Виды определяли при помощи руководств [5, 10, 16].

Для выявления характера различий между локальными сообществами проводили ординацию ценозов методом главных компонент. Достоверность различий между обилием раковинок в разных биотопах рассчитывалась с использованием критерия Манна – Уитни с поправкой Бонферрони для множественных сравнений. Все расчеты вели при помощи пакета программ PAST 2.17.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В изучаемых биотопах обнаружено 29 видов и форм ракообразных амёб, относящихся к 13 родам из 7 семейств. Количество видов в одной пробе колеблется от 1 до 14. Наиболее массовые виды, встречающиеся в исследованных биотопах – эврибионты *Centropyxis aerophila sphagnicola* (в среднем 27,3 % от общей численности в пробах), *Cyclopyxis kahli* (14,9 %), *Centropyxis aerophila* (10,9 %). Усредненная по биотопам картина сезонной дифференциации сообществ выглядит следующим образом (рис. 1). Наиболее своеобразен весенний (майский) вариант, где формируется специфический комплекс доминантов, включающий, помимо эврибионтов *C. a. sphagnicola* (20,3 %), *C. kahli* (8,4 %), *C. aerophila* (8,4 %), *Trinema complanatum* (7,6 %), *Phryganella acropodia* (6,6 %), бриофильную группировку *Nebela militaris* (15,5 %), *Tracheleuglypha dentata* (5,6 %), *Nebela collaris* (5,8 %), *Euglypha rotunda* (5,1 %), а также педобионта *Plagiopyxis declivis* (3,7 %). Специфическими доминантами летнего (июльского) варианта, помимо эврибионтов *C. kahli* (31,8 %), *C. a. sphagnicola* (12,0 %), *Ph. acropodia* (6,1 %), *C. aerophila* (6,0 %), *T. complanatum* (5,3 %), являются *Nebela collaris* (10,4 %), *Nebela tubulata* (6,5 %), *Cyclopyxis arcelloides* (3,0 %). Осенний (августовско-октябрьский) вариант сообщества весьма однороден и характеризуется преобладанием исключительно эврибионтов *C. a. sphagnicola* (27–49 %), *C. kahli* (5–14 %), *C. aerophila* (14–16 %), *Phryganella acropodia* (6–11 %), *Centropyxis sylvatica* (6–12 %), *Trinema complanatum* (4–7 %).

Таким образом, сезонный вектор сообщества выглядит как переход от специфических весенне-летних вариантов с преобладанием комплекса эврибионтных и бриофильно-гидрофильных видов к неспецифическим осенним состояниям с доминированием исключительно эврибионтных форм.

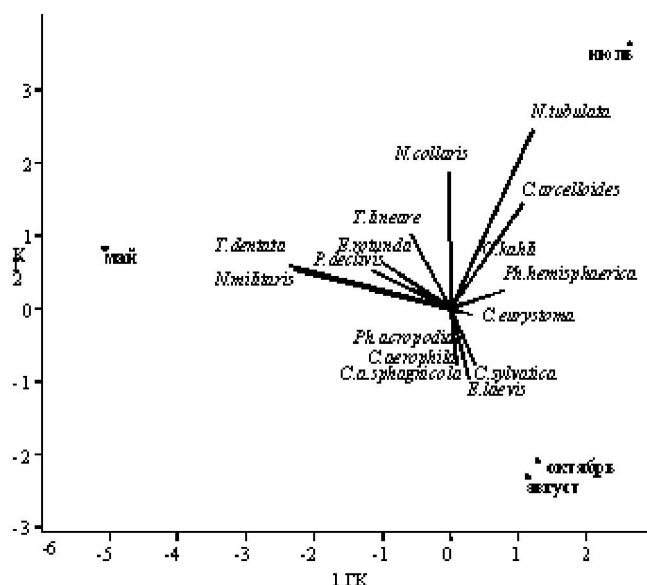


Рисунок 1 – Результаты ординации сезонных вариантов сообществ ракообразных амёб по доминирующим видам методом главных компонент (усреднено по всем типам биотопов). 1 ГК – 57,7 %, 2 ГК – 38,2 %

В отдельных типах биогеоценозов отмеченная картина может отличаться. Полностью отражает общую тенденцию картина сезонных модификаций в травяных фитоценозах и сосняках с гетерогенным весенне-летним доминирующим комплексом и весьма однородным осенним. В степях и лугах весной преобладают *Tracheleuglypha dentata*, *Plagiopyxis declivis*, летом – *Euglypha laevis*, *Phryganella hemisphaerica*, *Trinema lineare*, *Cyclopyxis kahli*, осенью – *Centropyxis aerophila sphagnicola*. В сосняках описанная тенденция выглядит особенно ярко: весной и летом преобладают небелиды *Nebela tubulata*, *N. collaris*, *N. militaris*, а также *Tracheleuglypha dentata*, осенью – *C. a. sphagnicola*, *C. aerophila*, *E. laevis*.

В кустарниковых фитоценозах весной преобладают формы с плагиостомными (*C. aerophila*, *C. a. sphagnicola*, *C. sylvatica*) раковинками (более 70 %), а также некоторые виды с криптостомными (*P. declivis*) или мелкими акростомными (*E. laevis*) раковинками. Летом и осенью основу сообщества образуют корненожки с центростомными раковинками: в июле и августе – *C. kahli*, в октябре – *C. arcelloides*, *C. eurystoma*, *Ph. hemisphaerica*. Таким образом, несмотря на то что состав доминантов в сообществах раковинных амёб из кустарниковых фитоценозов представлен эврибионтами в течение всего вегетационного периода, сезонная траектория от большего разнообразия весной к меньшему летом и осенью проявляется на уровне жизненных форм организмов.

Сообщества раковинных корненожек из мелколиственных лесов также разделяются на два сезонных варианта. Весной и летом доминирует *Cyclopyxis kahli* (48–57 % от общей численности). Осенью повышается доля центропиксид с плагиостомными раковинками (*C. a. sphagnicola*, *C. sylvatica*). Вместе с тем в этом биотопе выявлены и направленные смены в составе субдоминантов: в мае и октябре один комплекс организмов, в июле и августе – другой.

В сообществах раковинных амёб из дубрав отмечается следующая картина: в мае преобладают плагиостомные формы *C. a. sphagnicola*, *C. sylvatica*, в июле–августе мелкие филозные амёбы *T. complanatum*, *T. lineare*, *E. rotunda*, а также центростомные формы *C. kahli*, *C. aerophila*, *Ph. acropodia*, *Ph. hemisphaerica*, в октябре формируется смешанный состав доминантов, включающий весенние плагиостомные и летние акростомные и центростомные формы. Таким образом, в терминах разнообразия жизненных форм в сообществах корненожек из дубрав отмечаются противоположные тенденции по сравнению с остальными биогеоценозами: постепенное возрастание сложности от весны к осени.

Различия в интегральных показателях сообщества (численности и видового богатства) в разное время года статистически недостоверны. Вместе с тем можно говорить о некоторых тенденциях, общих для всех сообществ и специфических для отдельных типов биотопов. В целом можно констатировать различия в общем уровне сезонной вариабельности интегральных ценотических параметров из разных типов биотопов (рис. 2). Вариабельность численности выше, чем разнообразия. Причем изменчивость обилия максимальна в климаксовых биоценозах – дубравах и сосняках. Минимальная сезонная вариабельность сообщества – в мелколиственных лесах.

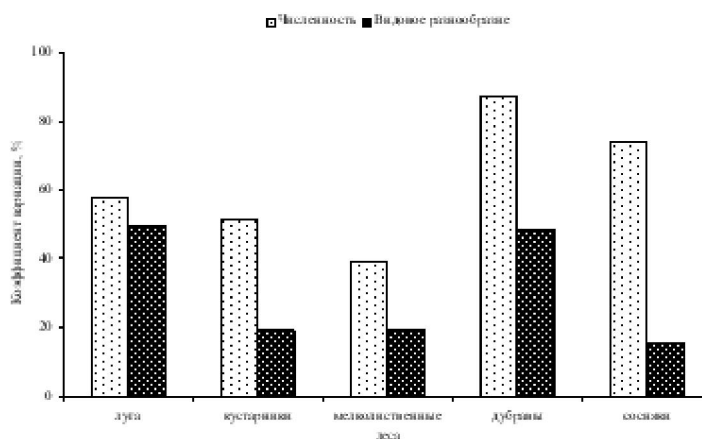


Рисунок 2 – Изменение коэффициента вариации сезонных показателей обилия и видового разнообразия (индекс Шеннона) в сообществах раковинных амёб из разных типов биотопов

Усредненная картина динамики интегральных показателей сообщества (рис. 3) отражает ненаправленные изменения видового разнообразия и повышение обилия организмов в конце лета. В отдельных экосистемах тенденции могут отличаться. Так, в сообществах корненожек из степей и лугов осенние варианты более упрощены по сравнению с весенне-летними. В сообществах из кустарников изменения численности проявляют те же тенденции, а видовое разнообразие к концу осени вновь повышается. В сообществах из мелколиственных лесов сложность сообщества корненожек, напротив, возрастает к осени, а из широколиственных лесов от минимального разнообразия и обилия в мае сложность сообщества возрастает летом и осенью (за исключением обилия в августе). В сосняках, напротив, обилие раковинных корненожек максимально в августе, а разнообразие сохраняется на одном уровне в течение всего сезона.

Таким образом, проведенные исследования показали, что сообщества почвенных раковинных амёб в разнотипных лесостепных биогеоценозах Среднего Поволжья изменяются по-разному в течение сезона. Динамика плотности населения корненожек в мелколиственных и хвойных лесах схожая и проявляется в увеличении численности организмов в период от мая к августу и уменьшении к октябрю. С другой стороны, схожий тип динамики проявился и в сообществах корненожек из травяных и кустарниковых биогеоценозов. Особенность сообществ широколиственных лесов заключается в двух хорошо выраженных максимумах обилия в июле и октябре, хотя в остальных биогеоценозах осенью наблюдался спад численности. В дубраве в октябре происходило и возрастание сложности структуры сообщества. А.А. Бобров [1], изучавший сообщества раковинных амёб при возобновлении леса на нарушенных территориях, отмечал увеличение числа видов раковинных амёб с возрастом биогеоценозов. Вероятно, по этой причине именно климаксовые сообщества дубрав обладают такой специфичностью.

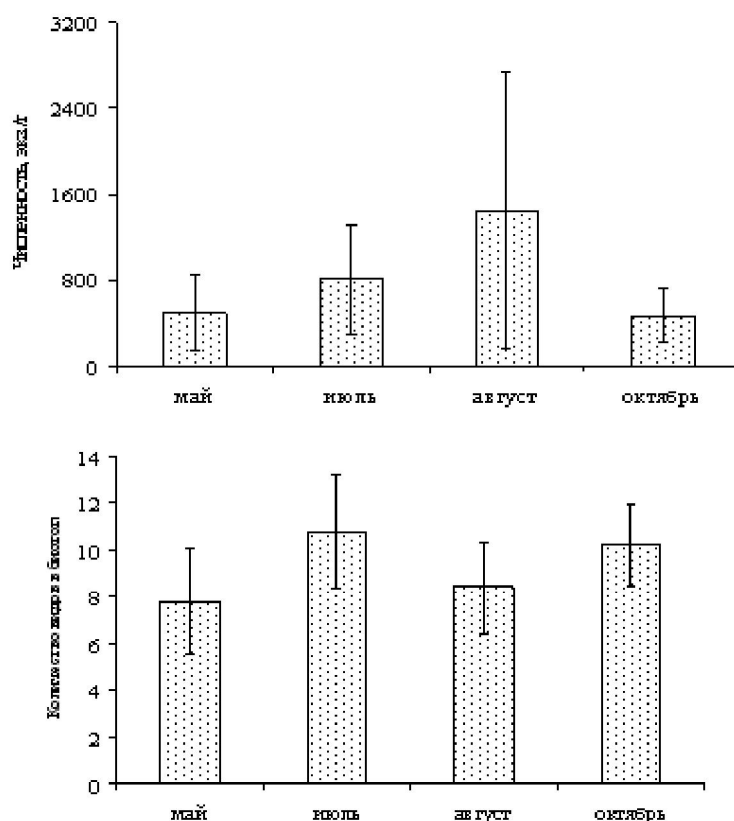


Рисунок 3 – Изменение интегральных показателей сообществ раковинных амёб в течение сезона (усреднено по всем типам биотопов). Планки погрешностей – ошибка средней

В проведенном исследовании впервые приведены данные по сезонной динамике населения почвообитающих раковинных корневожек в лесостепной зоне, включающей травяные, кустарниковые экосистемы, мелколиственные, широколиственные и хвойные леса. Сезонный вектор сообщества выпадит как переход от специфических весенне-летних вариантов с преобладанием комплекса эврибионтных и бриофильно-гидрофильных видов к неспецифическим осенним состояниям с доминированием исключительно эврибионтных форм. Эти данные соответствуют результатам предыдущих наших исследований по сезонной динамике сообществ почвенных и бриобионтных раковинных амёб Среднего Поволжья [11, 12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров А.А. Эколого-географические закономерности распространения и структуры сообществ раковинных амёб (*Protozoa: Testacea*): Дис. ... д-ра биол. наук. – М. : МГУ, 1999. – 341 с.
2. Бурковский И.В. Структура, динамика и продукция сообщества морских псаммофильных инфузорий // Зоол. журн. – 1978. – Т. 57. – Вып. 3. – С. 325–337.
3. Бурковский И.В., Мазей Ю.А. Многолетние изменения численности популяций псаммофильных инфузорий Белого моря // Успехи современной биологии. – 2010. – Т. 130. – № 2. – С. 200–215.

4. Гельцер Ю.Г., Корганова Г. А., Алексеев Д. А. Почвенные раковинные амёбы и методы их изучения. – М. : Изд-во МГУ, 1985. – 79 с.
5. Гельцер Ю.Г., Корганова Г.А., Алексеев Д.А. Определитель почвообитающих раковинных амёб (практическое руководство). – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 88 с.
6. Говоркова М.Н. Сезонная динамика численности популяции раковинных амёб в болотных почвах Западной Сибири // Матер. докл. Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск : ТГУ, 2007. – Ч. 5. – С. 56–58.
7. Добролюбова Т.В. Государственный природный заповедник “Приволжская лесостепь” (физико-географическая характеристика и биологическое разнообразие природных комплексов) / Т.В. Добролюбова, А.Н. Добролюбов, А.Ю. Кудрявцев, И.П. Лебяжинская. – Пенза : МПР РФ, 2002. – 91 с.
8. Мазей Ю.А., Блинохватова Ю.В., Ембулаева Е.А. Особенности микропространственного распределения почвообитающих раковинных амёб в лесах Среднего Поволжья // Аридные экосистемы. – 2011. – Т. 17. № 46. – С. 37–46.
9. Мазей Ю.А., Ембулаева Е.А. Структура сообщества почвенных раковинных амёб в Островцовской лесостепи (Среднее Поволжье): эффект лесостепного градиента // Успехи современной биологии. – 2008. – Т. 128. – № 5. – С. 508–516.
10. Мазей Ю.А., Цыганов А.Н. Пресноводные раковинные амёбы. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 300 с.
11. Трулова А.С., Мазей Ю.А. Сезонная динамика структуры сообщества раковинных амёб в Среднем Поволжье // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. – 2012. – № 29. – С. 397–404.
12. Трулова А.С., Митяева О.А., Мазей Ю.А. Сезонная динамика сообщества раковинных амёб в заболоченном лесу Среднего Поволжья // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – № 2. – С. 39–44.
13. Чистякова А.А. Кустарниковая растительность заповедника Приволжская лесостепь и ее роль в процессах залесения степей // Бюллетень Самарская лука. – 1993. – Вып. 4. – С. 94–110.
14. Чистякова А.А. Лесные памятники природы Пензенской области, утвержденные в 1999 году // ПОЛЕ : Научно-популярный экологический вестник. – 2001. – Вып. 4. – С. 5–11.
15. Чистякова А.А., Леонова Н.А. Состояние охраняемых лесных сообществ Европейской лесостепи России и возможности их реконструкции (на примере особо охраняемых территорий Пензенской области) // Экология. – 2003. – № 5. – С. 323–329.
16. Bonnet L., Thomas R., 1960. *Thücamoebiens du sol*. In: Hermann (ed.), *Faune terrestre et d'eau douce des Pyrünies-Orientales*. (Supplement to *Vie et Milieu*). № 5. 113 pp.
17. Guhl B. E., Finlay B. J., Schink B. Seasonal development of hypolimnetic ciliate communities in a eutrophic pond // FEMS Microb. Ecol. 1994. V. 14. P. 293–306.
18. Heal O. W. Observations on the seasonal and spatial distribution of Testacea (Protozoa: Rhizopoda) in *Sphagnum* // J. Anim. Ecol. 1964. V. 33. P. 395–412.
19. Mathes J., Arndt H. Annual cycle of protozooplankton (ciliates, flagellates and sarcodines) in relation to phyto- and metazooplankton in lake Neumuhler See (Mecklenburg, Germany) // Arch. Hydrobiol. 1995. Bd. 134. S. 337–258.

20. Mazei Yu. A., Tsyganov A.N. *Species composition, spatial distribution and seasonal dynamics of testate amoebae community in sphagnum bog (Middle Volga region, Russia)* // *Protistology*. 2007. Vol. 5. № 2, 3. P. 156–206.

21. Todorov M., Golemansky V. *Seasonal dynamics of the diversity and abundance of the marine interstitial testate amoebae (Rhizopoda: Testacealobosia and Testaceafilosia) in the Black Sea supralittoral* // *Acta Protozool.* 2007. V. 46. P. 169–181.

УДК 633.353(470.40)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ КОРМОВЫХ БОБОВ В УСЛОВИЯХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

© **О.А. Тимошкин**, ГНУ “Пензенский НИИСХ” Россельхозакадемии
(г. Пенза, Россия)

© **Н.И. Остробородова**, Пензенская государственная сельскохозяйственная
академия (г. Пенза, Россия)

© **О.И. Уланова**, Пензенская государственная сельскохозяйственная
академия (г. Пенза, Россия)

BIOLOGICAL AND ECONOMIC ESTIMATION OF SORTS FORAGE BOBS IN THE CONDITIONS OF PENZA AREA

© **O.A. Timoshkin**, I BEND “Penza NIISH” Rosselhozakademy (Penza, Russia)

© **N.I. Ostroborodova**, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)

© **O.I. Ulanova**, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)

Статья посвящена оценке сортов кормовых бобов. В результате изучения хозяйственно ценных признаков сортов выявлено, что они по-разному проявили свои адаптивные свойства в разные по метеорологическим условиям годы. Установлено, что сорта Пензенские 16, Узуновские являются перспективными для возделывания как на зерно, так и на зеленую массу, а сорт Мария – только на зерно.

Ключевые слова: кормовые бобы, сорт, урожайность, продуктивность, содержание белка.

The article is sanctified to the estimation of sorts of forage bobs. It is educed as a result of study economic of valuable signs of sorts, that they differently showed the adaptive properties in different on meteorological terms years. It is set that sorts are Penza 16, Uzunovskie are perspective for till, both on grain and on green mass, and sort Maria - only on grain.

Key words: forage bobs, sort, productivity, productivity, maintenance of albumen.

E-mail: natasha_1002@mail.ru

Объём и эффективность производства животноводческой продукции зависят от уровня кормления животных и от сбалансированности рационов по питательным веществам. Ведущая же роль в балансировании рационов принадлежит протеину [2]. Содержание белков в кормах колеблется в широких пределах: в семе злаковых культур от 4 до 6 %; в семе бобовых от 12 до 15 %; в зёрнах злаков от 8 до 12 %; в зёрнах бобовых от 25 до 30 %; в корнеплодах от 0,5 до 1 %; в жмыхах, шротах от 30 до 45 %; в кормах живот-

ного происхождения – от 50 до 80 % [12].

Ежегодно из-за несбалансированности кормовых рационов по важным компонентам недобирается большое количество животноводческой продукции, а дефицит собственного продовольствия покрывается поставками из-за рубежа [5].

По данным многих исследователей проблему кормового белка можно решить несколькими способами, одним из которых является расширение площадей под зернобобовыми культурами и, прежде всего, кормовыми бобами [1, 7, 11].

Повышенный интерес к ним как к зернофуражной культуре обусловлен тем, что благодаря повышенной концентрации белка в зерне они представляют собой практически незаменимый источник сырья для производства белковых добавок к фуражным культурам. По этому показателю бобы в два раза превосходят вико-овсяную смесь, в три раза зерно овса и почти в четыре раза зерно ячменя. Кроме того, использование кормовых бобов в севооборотах может иметь огромное экологическое значение, так как это позволит значительно улучшить физико-механические свойства почвы, увеличить ее плодородие, снизив при этом потребление азотных удобрений [3].

Несмотря на все достоинства кормовых бобов как культуры, посевные площади, занимаемые ими в нашей стране (в противовес мировой тенденции), остаются незначительными. Такая осторожность по стране связана, прежде всего, с недостатком или отсутствием адаптированных к регионам сортов кормовых бобов. Сейчас посевные площади под кормовыми бобами в России составляют примерно 20 тыс. га, но спрос на высокобелковое зерно остается неудовлетворенным.

В последнее время создано много новых скороспелых высокопродуктивных сортов, что делает кормовые бобы культурой очень перспективной, в том числе и для Пензенской области.

Сортоизучение кормовых бобов проводилось в 2009–2011 гг. на опытном поле отдела кормопроизводства ГНУ Пензенского НИИСХ.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднемощный, пахотный слой которого характеризовался следующими показателями: содержание гумуса – 6,3 %, содержание легкогидролизуемого азота – 92, содержание подвижного фосфора – 176, обменного калия – 143 мг на 1 кг почвы, $pH_{\text{сол}}$ – 5,5; емкость поглощения – 35,51–35,62 мг-экв. на 100 г почвы, Нг – 7,34–7,72 мг-экв./100 г, степень насыщения основаниями – 81,2–82,4 %, доступных форм молибдена – 0,10–0,12 мг/кг (низкое содержание), бора – 1,9 (высокое), меди – 0,42 (низкое), цинка – 0,48 мг/кг почвы (низкое). Повторность опыта четырехкратная, размещение вариантов систематическое, площадь делянки 10 м². Норма высева семян 0,6 млн. всх. семян, способ посева рядовой [6, 9].

Семена кормовых бобов обрабатывали ризоторфином – 400 г на гектарную норму высева семян (штамм ризобий 0418).

Объектом исследования служили следующие сорта кормовых бобов: Пензенские 16 (стандарт), Орлецкие, Исток, Узуновские, Мария.

Анализ динамики атмосферных осадков и теплового режима показывает, что современная экологическая обстановка в условиях области характеризуется как обострением засушливости климата в отдельные периоды, так и экстремальными ситуациями увлажнения.

Метеоусловия 2009 года были благоприятными для роста и развития растений кормовых бобов. Среднесуточная температура воздуха в период посев-всходы растений была на уровне среднесуточной при значительном количестве выпавших осадков преимущественно во второй половине месяца (60,3 мм). Летний период вегетации характеризовался как умеренно влажный с повышенным температурным режимом при ГТК, равным 0,67. Средняя температура воздуха за май – август составила 18,6 °С, что на 1,5 °С выше среднесуточной, а сумма осадков – 217,3 мм, наибольшее их количество выпало в августе – 80,8 мм.

Крайне засушливым был 2010 года. Сумма осадков за вегетационный период не превышала 42 мм, причем большая их часть пришлась на конец вегетации растений, ГТК составил 0,2 ед. Дефицит осадков и жаркая погода привели к опадению завязи кормовых бобов, а в дальнейшем к снижению урожайности зерна и зеленой массы (5–7 ц/га).

В мае 2011 года преобладала сухая и теплая погода. Отмечался дефицит осадков в период посев-всходы. Средняя температура воздуха 14,4 °С, что превышало норму на 0,7 °. Последующее выпадение осадков улучшило состояние и развитие растений. Среднесуточная температура за вегетационный период колебалась от 14,4 до 19,4 °С, количество осадков за год составило 736,9 мм, а за вегетационный период – 303,8 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) за период вегетации был равен 1,3 единицы, что характеризует год как влажный.

Знание продолжительности и особенностей вегетационного периода позволяет более полно использовать потенциальные возможности культурных растений в конкретных почвенно-климатических условиях.

Результаты фенологических наблюдений многих ученых свидетельствуют о том, что продолжительность межфазных и вегетационного периодов в целом определяются погодными условиями, запасами влаги и элементами агротехники [3, 4, 10].

Вегетационный период кормовых бобов в условиях области в зависимости от сорта и по годам исследований составил 93–106 дней.

В успешном выращивании кормовых бобов на зеленый корм или зерно-фураж очень важная роль принадлежит сорту. При выращивании на зерно сорт должен отвечать требованиям интенсивного возделывания культуры: быть достаточно высокопродуктивным (не менее 4,0 т/га зерна), устойчивым к полеганию и дружно созревающим, семена должны иметь светлую окраску.

Продуктивность кормовых бобов варьирует в зависимости от целого ряда условий, складывающихся в течение вегетации, и в первую очередь от обеспеченности влагой.

Для формирования урожая зелёной массы кормовых бобов наиболее благоприятные условия сложились в 2009 и 2011 гг. Урожайность в 2009 году составила – 33,6–39,2 т/га, в 2011 г. – 24,0–33,6 т/га (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность зеленой массы кормовых бобов, т/га

Сорт	2009 г	2010 г	2011 г	В среднем за три года
Пензенские 16 (st)	39,2	8,1	30,4	25,9
Орлецкие	37,8	7,5	28,5	24,6
Исток	33,6	6,2	24,0	21,3
Узуновские	36,7	8,4	33,6	26,2
Мария	35,4	7,1	27,1	23,2
НСР ₀₅	1,46	0,43	2,95	

В экстремальном по увлажнению 2010 году потенциал продуктивности растениями не был достигнут, урожайность зелёной массы составила всего лишь 6,2–8,4 т/га.

В среднем за три года сорта Пензенские 16, Орлецкие и Узуновские сформировали наиболее высокий урожай зелёной массы – 25,9, 24,6 и 26,2 т/га, соответственно.

Урожай сухого вещества кормовых бобов находится в прямой зависимости от величины урожайности зеленой массы по всем вариантам опыта. В среднем за три года наибольший сбор сухого вещества с урожаем получили у сортов Узуновские и Пензенские 16 (5,11 и 5,05 т/га). Несколько ниже (4,80 т/га) – у сорта Орлецкие (табл. 2).

При благоприятных условиях кормовые бобы отличаются достаточно высокой урожайностью семян – 3,0–6,2 т/га.

Большие колебания урожайности семян кормовых бобов зависят от внешних условий, элементов структуры урожая, специфичных для каждого сорта.

Таблица 2 – Сбор сухого вещества с урожаем кормовых бобов, т/га

Сорт	2009 г.	2010 г.	2011 г.	В среднем за три года
Пензенские 16 (st)	7,56	1,84	5,76	5,05
Орлецкие	7,33	1,68	5,40	4,80
Исток	6,48	1,42	4,55	4,15
Узуновские	7,10	1,87	6,37	5,11
Мария	6,79	1,64	5,14	4,52

Большое значение при выращивании культуры на зерно имеет число стеблей на растении кормовых бобов. При сильном побегообразовании созревание зерна происходит неравномерно, что в конечном итоге затрудняет уборку. При выращивании культуры на сенаж или зелёный корм, наоборот, способствует улучшению качества корма за счёт большего количества в урожае ценных в кормовом отношении мелких стеблей и листочков, которые образуются на дополнительных стеблях [8].

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ ...

Число стеблей у кормовых бобов в среднем за три года изменялось от 1,8 до 2,2. Больше число побегов на растение сформировал сорт Мария – 2,2, менее других кустится сорт Исток – 1,8. Высокая кустистость сорта Мария позволила в условиях неблагоприятного 2010 г. сформировать дополнительные побеги и получить сравнительно высокую урожайность зерна.

Наибольшее число продуктивных узлов на главном стебле в среднем за три года имел сорт Мария (6,3), менее других сортов – Пензенские 16 (5,1).

По числу плодов в узле показатели варьировали от 1,3 до 1,9. В зависимости от условий года различия существенны. Более 1,7 плодов в узле сформировали сорта – Мария и Узуновские. Число плодов с растения варьировало от 9 до 11,8. Несколько большее значение данного показателя в среднем за три года имели растения сортов Мария и Узуновские – 11,8 и 11,0.

По числу зерен с растения в среднем за три года сорт Мария превысил остальные сорта – 17 шт., при колебаниях по годам 9,9–19,7 шт.

В 2010 году, в условиях дефицита осадков, у растений кормовых бобов всех изучаемых сортов заложилось незначительное количество плодов и зерен в плоде, что в конечном итоге сказалось на снижении показателя “число зерен с растения” и составило 6,0–9,9 шт.

Погодные условия в годы проведения исследований были различными, и, как следствие, урожайность сортов кормовых бобов варьировала по годам.

В среднем за три года урожайность зерна составила 1,23–1,55 т/га (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность зерна кормовых бобов, т/га

Сорт	2009 г.	2010 г.	2011 г.	В среднем за три года
Пензенские 16 (st)	2,63	0,66	1,37	1,55
Орлецкие	1,67	0,71	1,68	1,35
Исток	1,38	0,70	1,60	1,23
Узуновские	2,25	0,65	1,43	1,44
Мария	2,04	0,77	1,78	1,53
НСР ₀₅	0,08	0,04	0,21	

Наиболее благоприятным для семяобразования был 2009 г., в котором урожайность зерна составила 1,38–2,63 т/га. Наименьший урожай получили в 2010 г. – 0,65–0,77 т/га.

Основные причины нестабильности урожаев зерна кормовых бобов – длительная продолжительность вегетационного периода, неустойчивость к осыпанию и большая потребность во влаге, которая не всегда удовлетворяет культуру при её возделывании.

Сорта по-разному проявляли свои адаптивные свойства в разные по метеорологическим условиям годы. Так, сорт Мария в засушливом 2010 г. сформировал 0,77 т/га зерна, в то время как у сортов Пензенские 16 и Узуновские урожайность зерна была примерно на одном уровне – 0,66–0,65 т/га, соответственно. В 2009 г. сорт бобов Пензенские 16 сформировал высокую урожайность зерна – 2,63 т/га, что достоверно превышает урожайность остальных сортов.

Таким образом, сорт кормовых бобов Узуновские является перспективным для возделывания как на зерно, так и на зеленую массу, а сорт Мария – только на зерно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков А.И. Проблема кормового белка в Зауралье и основные пути ее решения / А.И. Быков, В.Н. Дашков // *Аграрный вестник Урала*. – 2008. – № 4 (46). – С. 71–72.
2. Вавилов Г.П. Бобовые культуры и проблема растительного белка / Г.П. Вавилов, Г.С. Посыпанов. – М. : Россельхозиздат, 1983. – 256 с.
3. Возделывание кормовых бобов в Пензенской области: Практическое руководство / В.Б. Беляк, В.С. Епифанов, А.А. Смирнов [и др.]. – Пенза : РИО ПГСХА, 2005. – 24 с.
4. Глазунова Н.Н. Сравнительная оценка технологий возделывания гороха при выращивании семян в условиях лесостепи Поволжья / Н.Н. Глазунова, Л.В. Карпова // *Нива Поволжья*. – № 2 (19). – 2011. – С. 7–11.
5. Гуцина В.А. Отзывчивость рапса на минеральные удобрения и средства защиты от сорняков и вредителей / В.А. Гуцина, И.Н. Токарева // *Нива Поволжья*. – № 4 (13). – С. 11–17.
6. Доспехов П.А. Методика полевого опыта. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1989. – 335 с.
7. Кишикаткина А.Н. Формирование высокопродуктивных агроценозов кормовых культур с использованием адаптивных нетрадиционных растений / А.Н. Кишикаткина, В.Н. Еськин // *Нива Поволжья*. – 2008. – № 3(8). – С. 35–38.
8. Кишикаткин П.С. Приемы технологии возделывания кормовых бобов в условиях лесостепи Среднего Поволжья : Дис. ...канд. с.-х. наук, специальность 06.01.09. – Пенза, 2009.
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М. : Колос, 1971. – 239 с.
10. Митин Е.И. Сравнительное изучение сортов безлисточкового гороха для условий лесостепи Среднего Поволжья // Сб. матер. науч. студен. конф. 12-13 марта 2009 г. – Пенза. – 2009. – С. 28–29.
11. Остробородова Н.И. Продуктивность кормовых бобов при использовании микробиологического удобрения Байкал ЭМ 1 // *Нива Поволжья*. – 2010. – № 1 (10). – С. 39–42.
12. Сельскохозяйственный и фермерский бизнес Landwirt.ru © 2008–2012.

БИОИНДИКАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЫШЬЯКОМ И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

© *А.Г. Горохова, Пензенский государственный университет*
(г. Пенза, Россия)

© *А.И. Иванов, Пензенская ГСХА*
(г. Пенза, Россия)

© *О.В. Скобанева, ФБУ ГосНИИЭНП Региональный центр*
государственного экологического контроля и мониторинга
по Пензенской области
(г. Пенза, Россия)

BIOINDICATION OF SOILS CONTAMINATED WITH ARSENIC AND HEAVY METALS

© *A.G. Gorokhova, Penza State University (Penza, Russia)*

© *A.I. Ivanov, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)*

© *O.V. Skobaneva, Regional Center of State Ecological Control and Monitoring*
(Penza, Russia)

В статье приводятся результаты исследований по биоиндикации загрязненных почв с использованием методов флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой и определения жизнеспособности пыльцы сосны обыкновенной. Рассматривается вопрос о влиянии погодных условий на данные показатели. Установлена достоверная отрицательная корреляция между значениями гидротермического коэффициента и измеряемыми параметрами листьев березы. Показатель жизнеспособности пыльцы сосны в меньшей степени зависит от погодных условий, по сравнению с флуктуирующей асимметрией билатеральных признаков листьев березы.

Ключевые слова: биоиндикация, химическое загрязнение почв, мышьяк, тяжелые металлы, флуктуирующая асимметрия, жизнеспособность пыльцы, гидротермический коэффициент.

The article deals with results of bioindication of contaminated soils using fluctuating asymmetry of *Betula pendula* leaves and viability of *Pinus sylvestris* pollen methods. The matter of weather influence on these indicators is considered. The reliable negative correlation between hydrothermal coefficients and analyzed parameters of *Betula pendula* leaves is established. Indicator of *Pinus sylvestris* pollen viability in a less degree depends on weather as compared to fluctuating asymmetry of *Betula pendula* leaves.

Key words: bioindication, chemical pollution of soils, arsenic, heavy metals, fluctuating asymmetry, pollen viability, hydrothermal coefficient.

E-mail: rcgekim@mail.ru

В последние годы все большее значение приобретают биоиндикационные исследования, т.к. лабораторный анализ имеет всегда ограниченные возможности. Это определяется тем, что приборная база любой лаборатории настроена на определенные ингредиенты, а приборы имеют ограниченные пределы чувствительности [7, 16].

Среди используемых методов наиболее распространенным и применяемым в настоящее время является метод оценки состояния природных

популяций живых организмов по стабильности развития билатеральных признаков [15]. Он является достаточно простым, легко воспроизводимым и поэтому доступным для широкого использования способом оценки экологической ситуации [4]. Метод рекомендован Министерством природных ресурсов РФ как руководящий документ и является единственной аттестованной методикой для биоиндикации [12]. В качестве объекта исследований нами использовались листья березы повислой (*Betula pendula*), которые наиболее удобны с точки зрения измерений, необходимых для расчетов параметров [6]. В процессе выполнения работ применялся также метод определения жизнеспособности пыльцы [14]. В качестве объекта исследования была выбрана сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Она чувствительна к химическому загрязнению окружающей среды и поэтому является наиболее показательным тест-организмом [11, 17].

Целью данной работы было изучение воздействия химического загрязнения почвы на билатеральную асимметрию листьев березы повислой и жизнеспособности пыльцевых зерен сосны обыкновенной. Исследования проводились на территории в центральной части Пензенской области в пределах Засурского-Леонидовского участкового лесничества. В качестве загрязненной территории нами был взят квартал 385, на котором в конце 50-х – начале 60-х гг. был организован полигон, где осуществлялось уничтожение устаревших образцов химического оружия. Он находится на покрытом лесом склоне правобережья р. Суры в шести километрах юго-восточнее г. Пензы и в трех километрах юго-западнее пос. Леонидовка. Полигон состоит из трех участков, расположенных в 20-50 м друг от друга [10]. Кроме того, нами были обследованы пробные площадки в незагрязненной зоне, на расстоянии № 1 – 5 км, № 2 – 7 км, № 3 – 9 км, и контрольная площадка в 50 км от МПУ. На всех пробных площадках тип исследуемой почвы – серая лесная.

Первым этапом исследований было изучение содержания в почве токсических элементов: мышьяка, свинца, цинка, меди и никеля. Исследования проводились на базе Центральной экоаналитической лаборатории регионального Центра государственного экологического контроля и мониторинга по Пензенской области ФБУ “ГосНИИЭНП” и научно-исследовательской лаборатории (методов аналитического контроля и моделирования процессов уничтожения химического оружия) филиала ФБУ “ФУ БХУХО” (войсковая часть 21222). Для определения массовых концентраций валовых форм тяжелых металлов использовался метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии с волновой дисперсией. Определение осуществляли согласно методике измерений М049-П/04 при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра Спектроскан-Макс GF1E. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программ Excel и Statistica 10.

Определение массовых концентраций тяжелых металлов и мышьяка осуществляли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии, который позволяет определять их валовые формы. Поэтому значения их фоновых содержаний превысили ПДК (ОДК), которые установлены для метода атомно-абсорбционной спектроскопии [1, 2, 5] (табл. 1).

Таблица 1 – Фоновое содержание мышьяка и тяжелых металлов в образцах почвы с пробных площадок

Элемент	Фоновая концентрация для почв (95 % процентиль)	ПДК /ОДК (валовое содержание, мг/кг)
Мышьяк	13	2/2
Свинец	48	32/32
Цинк	61	-/55
Медь	26	-/33
Никель	10	-/20

Основным загрязняющим веществом на пробных площадках МПУ является мышьяк [8, 9]. Кроме того, почва с мест прежнего УХО содержит больше свинца, чем другие территории. Одна площадка с МПУ содержит значительно большее количество цинка, чем другие места отбора проб. По содержанию меди и никеля все площадки незначительно отличаются друг от друга и от ОДК (табл. 2).

Таблица 2 – Химический анализ почвенных проб исследуемых территорий

Точки отбора проб	Мышьяк, мг/кг (ПДК)	Свинец, мг/кг (ПДК)	Цинк, мг/кг (ОДК)	Медь, мг/кг (ОДК)	Никель, мг/кг (ОДК)
Контрольная площадка	10 (5*)	31 (-)	25 (-)	20 (-)	10 (-)
МПУ-1	1761 (881)	41 (1,3)	12 (-)	20 (-)	10 (-)
МПУ-2	561 (281)	59 (1,8)	693 (12,6)	23 (-)	10 (-)
МПУ-3	91 (46)	51 (1,6)	55 (-)	40 (1,2)	21 (1,1)
Площадка-1	10 (5)	27 (-)	76 (1,38)	33 (-)	22 (1,1)
Площадка-2	11 (5,5)	33 (1,03)	54 (-)	34 (1,03)	28 (1,4)
Площадка-3	9 (4,5)	<25 (-)	64 (1,16)	51 (1,54)	32 (1,6)

Примечание: * – В скобках указывается число, во сколько раз полученное значение превышает ПДК/ОДК.

Биоиндикационные исследования проводились на базе лаборатории биомониторинга и биотестирования регионального Центра государственного экологического контроля и мониторинга по Пензенской области (ФБУ “ГосНИИЭНП”). Для расчета флуктуирующей асимметрии у березы с одного листа снимались показатели по пяти параметрам (ширина половинки листа; длина второй жилки от основания листа; расстояние между основаниями первой и второй жилок; расстояние между концами этих жилок; угол между главной и второй от основания жилками). Согласно методике, с деревьев березы повислой на каждой площадке делались выборки по 100 листьев. Для оценки степени нарушения стабильности развития из-за негативного влияния загрязнения использовалась пятибалльная оценка. Первый балл шкалы – условная норма. Значение интегрального показателя асимметрии, соответствующего первому баллу, наблюдается обычно в выборках растений из благоприятных условий произрастания. Пятый балл – критическое значение. Такие значения показателя асимметрии наблюдаются в крайне неблагоприятных условиях, когда растения находятся в сильно угнетенном состоянии (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели изучения флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой

Точки отбора проб	Балл асимметрии растений березы повислой					
	2008	2009	2010	2011	2012	среднее
Контрольная площадка	3	3	5	2	1	2,8
МПУ	4	4	5	4	4	4,2
Площадка-1	3	3	5	3	3	3,4
Площадка-2	3	3	5	3	1	3,0
Площадка-3	2	3	5	2	2	2,8

Помимо химического стресса, на биоиндикационные показатели исследуемых растений могут также оказывать влияние погодные условия вегетационного периода, что несколько усложняет использование рассматриваемого метода (табл. 4)

Таблица 4 – Погодные условия вегетационных периодов в 2008–2012 гг.

Показатель	Год исследования				
	2008	2009	2010	2011	2012
Сумма активных температур, °С	1097,80	1023,53	1204,60	1008,40	1300,40
Гидротермический коэффициент	1,58	0,90	0,40	1,06	0,74

Гидротермический коэффициент – показатель увлажнённости территории. Определяется отношением суммы осадков в миллиметрах за период со среднесуточными температурами воздуха выше +10 °С к сумме температур за это же время, уменьшенной в 10 раз. Гидротермический коэффициент выражает степень нехватки или избытка влаги по отношению к имеющимся тепловым ресурсам. При ГТК, равном 0,5 и менее, погода сухая, при ГТК, равном 0,6–1,0, – засушливая и при ГТК, равном 1,1–1,5, – влажная [13]. Самый низкий ГТК был в 2010 г., в период аномально жаркого и сухого лета.

В результате исследований было установлено, что растения березы повислой на МПУ постоянно испытывают стресс, т.е. балл асимметрии листьев березы повислой соответствует неблагоприятной экологической ситуации. Вероятнее всего, это связано с существенным техногенным загрязнением территории. Балл асимметрии на других пробных площадках варьирует по годам исследований. Эта вариабельность соотносится с погодными условиями конкретного вегетационного периода, когда закладывается и развивается листовая пластинка. Зависимость билатеральной асимметрии от погодных условий просматривается на тех пробных площадках, где техногенное воздействие минимально (рис. 1, 2). На этих площадках зафиксирован отрицательный статистически достоверный коэффициент корреляции ($P = 0,05$) между флуктуирующей асимметрией и погодными условиями (ГТК), который составил –0,54.

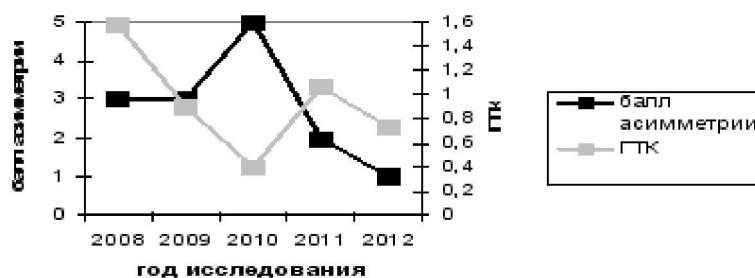


Рисунок 1 – Зависимость балла асимметрии листовой пластинки березы повислой от ГТК на контрольной площадке

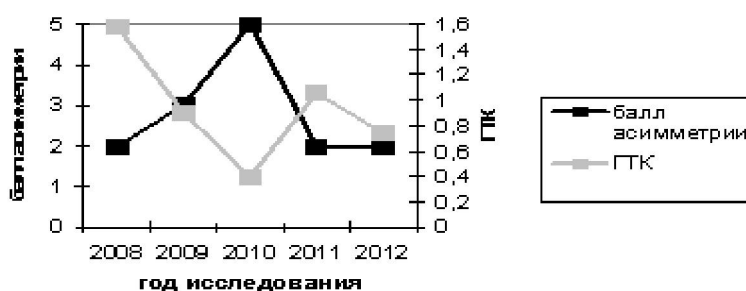


Рисунок 2 – Зависимость балла асимметрии листовой пластинки березы повислой от ГТК на площадке-3

На тех же пробных площадях, где растения испытывают постоянный химический стресс, вариабельность меньше, и балл асимметрии стабильно высокий (рис. 3).

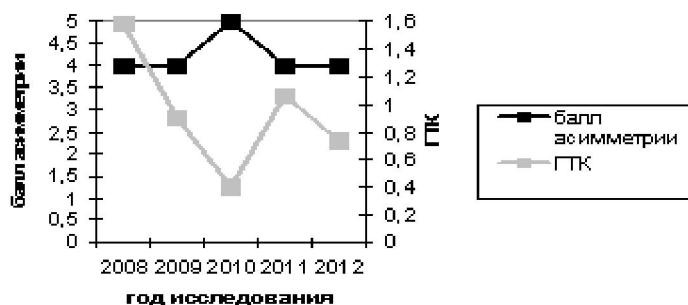


Рисунок 3 – Зависимость балла асимметрии листовой пластинки березы повислой от ГТК в условиях МПУ

В условиях техногенного загрязнения балл асимметрии, вероятнее всего, стабильно высокий и слабее зависит от погодных условий. Лишь в условиях аномальных температур погодный стресс перекрывает химический, что и наблюдалось в 2010 г. Корреляционной зависимости между погодными условиями и флуктуирующей асимметрией на территории МПУ не обнаружено.

Степень жизнеспособности пыльцы определяется по уровню активности содержащейся в ней пероксидазы. Для оценки активности этого фермента используется цветная реакция, в ходе которой пыльцевые зерна, характеризующиеся сравнительно высокой активностью пероксидазы окра-

шиваются в красноватый или малиновый цвет. Нежизнеспособная пыльца (с низкой пероксидазной активностью или ее отсутствием) окрашивается в желтый цвет или остается бесцветной (табл. 5).

Таблица 5 – Показатели жизнеспособности пыльцы сосны обыкновенной

Точки отбора проб	Жизнеспособность пыльцы сосны обыкновенной, %				
	2008	2009	2010	2012	среднее
Контрольная площадка	99	92	95	88	94
МПУ	10	15	21	27	18
Площадка-1	70	55	82	77	71
Площадка-2	99	87	81	35	76
Площадка-3	55	95	85	69	76

В 2011 г. провести оценку жизнеспособности пыльцы сосны обыкновенной оказалось невозможным, т.к. генеративные органы у этой древесной породы обычно закладываются в середине лета предыдущего года. Июль 2010 г. был аномально жарким. Среднесуточные температуры составляли 25,9 °С. Поэтому в мае 2011 г. мужские шишки на сосне не образовывались и отбор проб пыльцы оказался невозможным. Данные за этот период в таблице 5 не приводятся.

Результаты определения жизнеспособности пыльцы показывают четкую зависимость от техногенного стресса, о чем свидетельствуют средние данные по каждой площадке за годы исследований. Статистически достоверной корреляционной зависимости между жизнеспособностью пыльцы и ГТК не обнаружено. Влияние химического стресса несомненно – жизнеспособность пыльцы с территории МПУ ежегодно низкая, в отличие от контрольной площадки (рис. 4, 5).

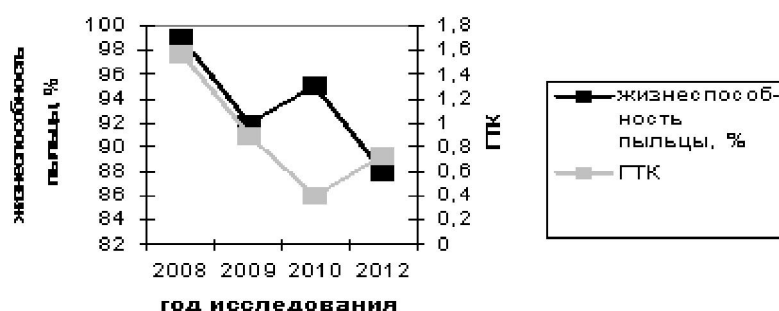


Рисунок 4 – Зависимость жизнеспособности пыльцы сосны обыкновенной от ГТК на контрольной площадке

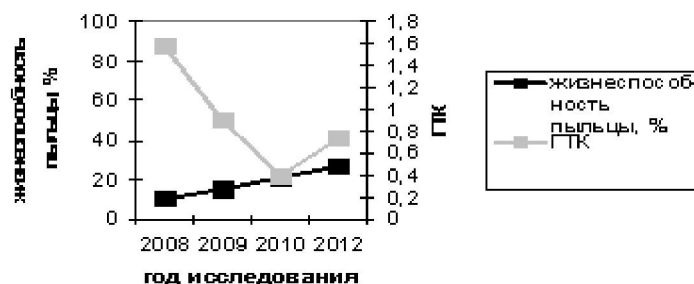


Рисунок 5 – Зависимость балла жизнеспособности пыльцы сосны обыкновенной от ГТК в условиях МПУ

В пыльце деревьев сосны обыкновенной, собранной на МПУ, ежегодно проявляется большое количество уродливых пыльцевых зерен, тогда как пыльца с ненарушенных территорий таких отклонений не имеет. В 2008 г. количество уродливой пыльцы составляло 49 % от общего количества, в 2009 г. – 62 %, в 2010 г. – 58 %, в 2012 г. – 30 %. В пыльце с контрольной площадки количество уродливой пыльцы за годы исследований не превышало 3 %.

Выводы

1. На показатель флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листьев березы существенное влияние оказывает гидротермический коэффициент. В ходе исследований установлена достоверная отрицательная корреляция между его величиной и значениями измеряемых параметров листьев березы повислой. Чем ниже показатель гидротермический коэффициент, тем, соответственно, выше балл флуктуирующей асимметрии.
2. Зависимость балла флуктуирующей асимметрии от погодных условий не позволяет давать правильную оценку экологической ситуации на основе одногодичных наблюдений [3]. Объективную картину дают лишь средние данные за трех-пятилетний период.
3. Такой показатель, как жизнеспособность пыльцы менее зависим от погодных условий. Поэтому его использование при биоиндикации химического стресса может существенно дополнять методику определения флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков. Рассмотренный комплексный подход позволяет с большой точностью давать оценку экологической ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. От 23.06.2009 г. Регистрационный № 14121.
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве от 23.01.2006 г. Регистрационный № 7470.
3. Балашкевич Ю.А. Изменение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой на неиспользуемых сельскохозяйственных землях // Нива Поволжья. – 2010. – № 1 (14). – С. 1–4.
4. Захаров В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов [и др.], Центр экологической политики России, Центр здоровья среды. – М., 2000. – 68 с.

5. Иванов А.И. Динамика содержания свинца, марганца и железа в почвах и поверхностных природных водах в ЗЗМ объекта уничтожения химического оружия / А.И. Иванов, Д.Ю. Ильин, А.А. Костычев // *Мониторинг природных экосистем.* – Пенза, 2008. – С. 68–73.
6. Иванов А.И. Влияние последствий уничтожения химоружия в прошлом на состояние растительного покрова (на примере окр. ст. Леонидовка Пензенской обл.) / А.И. Иванов, П.А. Иванов // *Поволжский экологический журнал. Экологическое уничтожение химоружия.* – 2005 (Спец. выпуск). – С. 167–181.
7. Иванов А.И. Использование живых организмов различных таксономических групп для биоиндикации состояния окружающей среды // *Теоретическая и прикладная экология.* – 2007. – № 2. – С. 73–78.
8. Иванов А.И. Мышьяк в серых лесных почвах Пензенской области / А.И. Иванов, А.А. Костычев // *Мониторинг природных экосистем : Сборник статей третьей Всероссийской научно-практической конференции.* – Пенза, 2009. – С. 134–137.
9. Иванов А.И. Фоновое содержание некоторых тяжелых металлов в серых лесных почвах / А.И. Иванов, А.А. Костычев // *Мониторинг природных экосистем : Сборник статей четвертой Всероссийской научно-практической конференции.* – Пенза, 2010. – С. 166–169.
10. Иванов А.И. Обследование и экологическая реабилитация мест прежнего уничтожения химического оружия на территории Пензенской области / А.И. Иванов, В.М. Панкратов. – Пенза, 2006. – 75 с.
11. Иванов А.И. Использование изменчивости азотного обмена хвойных растений в биоиндикации / А.И. Иванов, А.П. Стаценко // *Теоретическая и прикладная экология.* – 2010. – № 1. – С. 42–45.
12. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) № 460 от 16.10.2003. – М. : МПР, 2003. – 24 с.
13. Месяц В.К. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. – М. : Сов. энциклопедия, 1989. – 656 с.
14. Мокроусова А.Т. Малый практикум по физиологии растений. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – С. 113–116.
15. Пат. № 2355159 РФ, МПК A01G7/00. Способ оценки газоустойчивости растений / Иванов А.И., Стаценко А.П. – Патентообладатели ФГУ «ГосНИИЭНП», Стаценко А.П. Заявл. 06.06.07. Оpubл. 20.05.09. Бюл. № 14. – 4 с.
16. Пат. №2346270 РФ, МПК G01N33/00. Способ оценки уровня загрязнения атмосферы / Иванов А.И., Стаценко А.П., Кабанин А.В. – Патентообладатели ФГУ «ГосНИИЭНП», Стаценко А.П. Заявл. 02.04.07. Оpubл. 10.02.09, Бюл. № 4. – 4 с.
17. Третьякова И.Н. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса / И.Н. Третьякова, Н.Е. Носкова. – *Экология.* – 2004. – № 1. – С. 26–33.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ, ЭКОЛОГИИ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕДИЦИНЕ

УДК 681.31-181.48

МЕТОДИКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭКОСИСТЕМ

© *И.А. Прошин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *Р.Д. Прошина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *П.В. Сюлин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

METHOD OF STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF ECOSYSTEM MODELS

© *I.A. Proshin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *R.D. Proshina, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *P.V. Siulin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Приводится разработанная авторами методика обработки экспериментально-статистической информации, основанная на системной организации научных исследований экосистем, принципах структурно-параметрического синтеза математических моделей в преобразованных координатах, методах дисперсионного и корреляционного анализа.

Ключевые слова: методика, модель, экологическая безопасность, экосистема.

Developed by the authors is a method of processing experimental and statistical information based on the system of research ecosystems, the principles of structural and parametric synthesis of mathematical models in the transformed coordinates, methods of variance and correlation analysis.

Key words: methodology, model, environment, ecosystem.

E-mail: proshin.Ivan@inbox.ru

Неотъемлемый атрибут современного производства – требование мониторинга и контроля за состоянием окружающей среды, оценка антропогенного воздействия на неё технологических процессов производства. Уменьшение энергетических ресурсов на фоне стремительного развития промышленности и расширения сферы потребления, повышение уровня техногенного воздействия на окружающую среду с неизбежностью поворачивают информационные технологии в направлении, получившем название Green IT (зелёные технологии). Цель подобных технологий – уменьшение вредного воздействия на природу и человека, охрана окружающей среды (энергосбережение, загрязнение воздуха, утилизация).

Создание экологически безопасных производств обуславливает необходимость проведения значительного объема исследований различных технологий с оценкой влияния антропогенных факторов на экосистемы (ЭС) и связано со значительным объемом научных исследований механизмов взаимодействия отдельных компонент системы, разнообразных физико-химических взаимодействий, методов управления объектами промышленных предприятий. Многообразие задач и технологий при решении проблем экологической безопасности приводит к использованию при их решении множества разрозненных подходов, методов, методик, порождает значительные трудности при проведении таких исследований.

В настоящей работе приводится разработанная авторами методика обработки экспериментально-статистической информации, основанная на системной организации научных исследований экосистем [1], принципах структурно-параметрического синтеза математических моделей в преобразованных координатах [2–4], методах дисперсионного и корреляционного анализа [2, 5–7].

За основу методологии проведения и системной организации научных исследований экосистем [1] приняты системный, энергетический и информационно-алгоритмический причинно-следственный подходы, комплексные исследования экосистем. Ключевым при исследовании экосистем является выделение единой системы показателей и оценок, приемлемых как для оценки состояния окружающей среды, так и для технологических и производственных процессов, а также выпускаемой продукции. Основой таких показателей являются относительные концентрации отдельных компонент загрязняющих веществ в атмосфере, воде, почве. Комплексные оценки экологического состояния включают оценки множества показателей в различных категориях. Примерами могут служить критерии экологической эффективности, устойчивости, нагрузки, опасности, управляемости.

Строгое установление, насколько «хороша» или «плоха» экосистема и чему соответствует её «оптимум экологической безопасности», – чрезвычайно-сложная задача. Её решение связано с необходимостью, прежде всего, определить критерии такой оценки, что обуславливает проведение исследований множества взаимосвязанных физико-химических и биологических процессов и направлена: на выбор системы адекватных показателей качества экосистем, непротиворечиво вычисляемых на основе гидробиологических измерений, полученных с помощью традиционных технических средств; разработку технологии квантования диапазона изменения каждого показателя в соответствии с установленными границами нормы – патологии; создание методик расчета формализованных интегральных количественных оценок, позволяющих учитывать комплексное влияние всего многообразия составляющих экологических факторов.

Как технологические процессы, так и показатели качества экосистем могут быть представлены с достаточной для практики точностью нелинейными математическими моделями.

Например, комплексная оценка загрязненности вод по Г.Т. Фрумину и Л.В. Баркану основывается на расчёте для каждого ингредиента частной функции желательности Харрингтона по формуле:

$$d_i = e^{-e^{b_0 + b_1 \delta_i}}, \quad \delta_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где C_i и ПДК_i – наблюдаемая и предельно допустимая концентрации i -го ингредиента, b_0 и b_1 – специально рассчитанные коэффициенты, зависящие от типа ингредиента и класса качества воды.

Для расчёта оценок качества вод от величины отдельных показателей (x) находят применение следующие модели:

- в классе линейных зависимостей – для цветности по шкале Pt-Co

$$y = 0,0851x + 0,884 \quad (R^2 = 0,983);$$

- в классе полиномиальных зависимостей – для насыщения кислородом (%)

$$y = -0,0011x^2 + 0,0572x + 7,2 \quad (R^2 = 0,989);$$

- в классе логарифмических зависимостей – для содержания взвешенных веществ (мг/л), хлорофилла (мкг/л), цинка (мкг/л), соответственно:

$$y = 1,77 \ln(x) - 0,995 \quad (R^2 = 0,970),$$

$$y = 1,685 \ln(x) - 0,947 \quad (R^2 = 0,987),$$

$$y = 1,052 \ln(x) + 2,95 \quad (R^2 = 0,997).$$

Зависимости эффективности очистки сточных вод от различных технологических факторов (от массы добавления сорбентов и реагентов, времени контакта сорбента с водой, продолжительности термического взаимодействия с дефекатом и др.), изотермы адсорбции ионов различных металлов и многие другие могут быть представлены математическими моделями (ММ) с использованием экспоненциальных функций.

По результатам анализа различных технологических процессов и моделей показателей качества примем за основу построения математических моделей следующие пять видов преобразования координат: прямо пропорциональное $X = x$, обратно пропорциональное $X = 1/x$, логарифмическое

$X = \ln x$, экспоненциальное $X = e^x$ и полиномиальное $X = x^n$. При однократном преобразовании двух переменных с использованием приведенных пяти видов преобразования координат, взятых в качестве основных, можно синтезировать набор из 25 линейно независимых функций (табл. 1).

Таблица 1 – Базисные функции с однократным преобразованием координат, синтезированные на основе пяти простейших преобразований

№	Вид ММ	Исходное уравнение	Преобразованные переменные	
			Y	X
1	Линейная	$y = a_0 + a_1 \cdot x$	y	x
2	Линейно-гиперболическая	$y = a_0 + a_1/x$	y	$1/x$
3	Линейно-логарифмическая	$y = a_0 + a_1 \cdot \ln x$	y	$\ln x$
4	Линейно-экспоненциальная	$y = a_0 + a_1 \cdot e^x$	y	e^x
5	Линейно-показательная	$y = a_0 + a_1 \cdot x^n$	y	x^n
6	Обратная линейная	$y = \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot x}$	$1/y$	x
7	Обратная гиперболическая	$y = \frac{1}{a_0 + a_1/x}$	$1/y$	$1/x$
8	Обратная логарифмическая	$y = \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot \ln x}$	$1/y$	$\ln x$
9	Обратно-экспоненциальная	$y = \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot e^x}$	$1/y$	e^x
10	Обратно-степенная	$y = \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot x^n}$	$1/y$	x^n
11	Показательно-линейная	$y = e^{a_0 + a_1 \cdot x}$	$\ln y$	x
12	Показательно-гиперболическая	$y = e^{a_0 + a_1/x}$	$\ln y$	$1/x$
13	Показательно-логарифмическая	$y = e^{a_0 + a_1 \cdot \ln(x)}$	$\ln y$	$\ln x$
14	Бипоказательная	$y = e^{a_0 + a_1 \cdot e^x}$	$\ln y$	e^x
15	Показательно-степенная	$y = e^{a_0 + a_1 \cdot x^n}$	$\ln y$	x^n
16	Логарифмическо-линейная	$y = \ln(a_0 + a_1 \cdot x)$	e^y	x
17	Логарифмическо-гиперболическая	$y = \ln(a_0 + a_1/x)$	e^y	$1/x$
18	Билогарифмическая	$y = \ln(a_0 + a_1 \cdot \ln(x))$	e^y	$\ln x$
19	Логарифмическо-экспоненциальная	$y = \ln(a_0 + a_1 \cdot e^x)$	e^y	e^x
20	Логарифмическо-степенная	$y = \ln(a_0 + a_1 \cdot x^n)$	e^y	x^n
21	Степенная линейная	$y = \sqrt[n]{a_0 + a_1 \cdot x}$	y^n	x
22	Степенная гиперболическая	$y = \sqrt[n]{a_0 + a_1/x}$	y^n	$1/x$
23	Степенная логарифмическая	$Y = \sqrt[n]{a_0 + a_1 \cdot \ln(x)}$	y^n	$\ln x$
24	Степенная экспоненциальная	$y = \sqrt[n]{a_0 + a_1 \cdot e^x}$	y^n	e^x
25	Бистепенная	$y = \sqrt[n]{a_0 + a_1 \cdot x^n}$	y^n	x^n

Анализ компонент экосистемы и экосистемы в целом как элемента единой системы и как системы взаимосвязанных элементов, определяющих экологическое состояние и динамику объекта, как преобразователя количества энергии, вещества, импульса, информации и как объекта управления [1] позволяет составить математическую модель экосистемы, описывающую динамику её поведения в пространстве состояний, определить принципы и методы управления экологической системой, осуществить прогнозирование.

Рисунок 1 отражает методику обработки экспериментально-статистической информации на основе разработанной системы математических моделей (табл. 1) с использованием методов дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа экосистем.



Рисунок 1 – Методика обработки экспериментально-статистической информации экосистем

Выбор вида математической модели проводится на основе разработанного в [2] метода структурно-параметрического синтеза моделей по видам преобразования координат, состоящего в формировании функционально-полных наборов пакетов ММ по заданным видам функциональных преобразований $\psi(x)$ и $\varphi(y)$ определённого x и результативного y признаков

$$\left. \begin{matrix} \varphi(y) \\ \psi(x) \end{matrix} \right\} \Rightarrow y = \varphi^{-1}(a_0 + a_1\psi(x))$$

и в организации для каждого пакета множества линейно-зависимых ММ

$$\varphi^{-1}(a_0 + a_1\psi(x)) = \{f_i(a_0 + a_1x)\},$$

наиболее полно отражающих физические закономерности исследуемого объекта.

Таким образом, выбор вида ММ основывается на преобразованиях исходных данных в соответствии с выражением

$$\left. \begin{matrix} \varphi(y) \\ \psi(x) \end{matrix} \right\} \Rightarrow y = \varphi^{-1}(a_0 + a_1 \psi(x)) = \{f_i(a_0 + a_1 x)\}.$$

При автоматизированном синтезе функционально-полных наборов линейно-независимых ММ с использованием n видов преобразования координат возможно построение n^2 однофакторных моделей.

С целью расширения набора функций и возможностей учёта различных нелинейностей в моделях предлагается проводить синтез моделей с многократным использованием одних и тех же видов преобразования координат:

$$\left. \begin{matrix} \varphi_n(\varphi_{n-1}(\dots\varphi_2(\varphi_1(y)))) \\ \psi_m(\psi_{m-1}(\dots\psi_2(\psi_1(x)))) \end{matrix} \right\} \Rightarrow y = \varphi_n^{-1}(\dots\varphi_2^{-1}(\varphi_1^{-1}(a_0 + a_1 \bar{\psi}(x))))).$$

Здесь n и m – количество уровней преобразований результативного и определённого признаков.

Для обеспечения построения ММ в преобразованных координатах используется метод реверсивного преобразования координат (РПК) [2], обеспечивающий эффективность, состоятельность и несмещённость оценок моделей в непреобразованных координатах.

Расчёт основных статистических характеристик для результативного y и определённого x параметров состоит в определении следующих величин:

1. Средние значения для x и y :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i.$$

2. Оценки дисперсий и среднеквадратических отклонений:

$$y_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} = \sum_{i=1}^n x_i^2 / n - \left(\sum_{i=1}^n x_i / n \right)^2;$$

$$y_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n} = \sum_{i=1}^n y_i^2 / n - \left(\sum_{i=1}^n y_i / n \right)^2;$$

$$y_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}; \quad y_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}}.$$

3. Ковариация между y и x :

$$\begin{aligned}\text{cov}(y, x) &= E[(y - \bar{y}) \cdot (x - \bar{x})] = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \cdot (x_i - \bar{x}) = \\ &= \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n} \right).\end{aligned}$$

Расчет коэффициентов корреляции и оценка тесноты связи и значимости проводится по коэффициенту корреляции r , характеризующему близость связи между статистическими параметрами y и x к заданной и равному отношению ковариации между y и x для рассматриваемой зависимости к ковариации для случая полного совпадения (максимально возможная связь между y и x) анализируемой функции с заданной (линейная функция), когда $\text{cov}(y, x)$ равна произведению среднеквадратических отклонений y_x и y_y .

$$r = \frac{\text{cov}(y, x)}{y_y \cdot y_x} = \frac{E[(y - \bar{y}) \cdot (x - \bar{x})]}{y_y \cdot y_x} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \cdot (x_i - \bar{x})}{n \cdot y_y \cdot y_x}.$$

Использование простейших преобразований для составляющих формулы вычисления коэффициента корреляции r

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \cdot (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n};$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n};$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n},$$

приводит к более удобному для вычислений коэффициенту корреляции r выражению

$$r = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}}.$$

Как видно из его физической сущности, коэффициент корреляции r может меняться на интервале $[-1, 1]$.

Если $r = 0$, то и $\text{cov}(y, x) = 0$. Это значит, что $a_1 = \text{cov}(y, x) / y_x^2 = 0$, $\bar{y}(x) = a_0$, линия регрессии горизонтальна, а y не зависит от x .

Значениям $r = \pm 1$ соответствует ковариация $\text{cov}(y, x) = y_x \cdot y_y$, при этом связь между y и x наиболее тесная. Все экспериментальные точки лежат на линии регрессии. Это означает, что связь между y и x описывается линейной функцией с положительным при $r = +1$ и отрицательным при $r = -1$ наклоном.

Считают, что

при $r \in (0; 0,3)$ слабая,

при $r \in (0,3; 0,7)$ средняя,

при $r \in (0,7; 0,9)$ сильная,

при $r \in (0,9; 1)$ весьма сильная связь.

Значимость коэффициентов корреляции оценивается по фактическому критерию Стьюдента:

$$t_f = r \cdot \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2},$$

значение которого сравнивается с теоретическим значением критерия Стьюдента для заданной доверительной вероятности P и для известного числа исходных данных. Если фактическое значение критерия Стьюдента t_f больше теоретического t_t , то коэффициент корреляции считается существенным, а связь между x и y – достоверной.

Оценка значимости коэффициентов математической модели. Оценка значимости коэффициентов математической модели проводится аналогично оценке значимости коэффициентов корреляции. Фактические значения критериев Стьюдента t вычисляют по формулам:

для a_0

$$t_{a_0} = \frac{|a_0| \cdot \sqrt{(n-2) \cdot \left[n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{m_i})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}},$$

для a_1

$$t_{a_1} = \frac{|a_1| \cdot \sqrt{(n-2) \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 / n}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{m_i})^2}}.$$

Определение доверительных границ a^1 и a^2 для параметров математических моделей основано на предположении, что оцениваемые параметры a при известной точечной оценке $\hat{a}$ с заранее заданной вероятностью, близкой к единице, находятся в интервале $[a^1, a^2]$ и проводятся по формулам:

$$a = \hat{a} \pm \Delta a; \Delta a = t_T \cdot c_a.$$

Случайная погрешность c_a параметров математических моделей вычисляется соответственно для коэффициентов a_0 и a_1 по следующим выражениям:

$$c_{a_0} = y_{OCT} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n^2 \cdot y_x^2}} = \sqrt{\frac{y_{OCT} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2}{n^2 \cdot y_x^2}}; \quad c_{a_1} = \sqrt{\frac{y_{OCT}^2}{n \cdot y_x^2}},$$

где y_{OCT} – остаточная (выборочная) дисперсия:

$$y_{OCT}^2 = \frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n [y_i - y_{m_i}]^2.$$

Доверительные интервалы оценок параметров уравнения регрессии:

$$\text{для } a_0 \quad \Delta a_0 = t_T \cdot c_{a_0},$$

$$\text{для } a_1 \quad \Delta a_1 = t_T \cdot c_{a_1}.$$

Доверительные границы параметров уравнения регрессии:

$$a = \hat{a} \pm \Delta a;$$

$$a_0 = \hat{a}_0 \pm \Delta a_0; \quad a_1 = \hat{a}_1 \pm \Delta a_1;$$

$$a_{01} = \hat{a}_0 - \Delta a_0; \quad a_{02} = \hat{a}_0 + \Delta a_0;$$

$$a_{11} = \hat{a}_1 - \Delta a_1; \quad a_{12} = \hat{a}_1 + \Delta a_1.$$

Доверительные границы уравнения регрессии. Наименьшее значение ширины доверительного интервала $\Delta x_{\min}$ линии регрессии

$$\Delta x_{\min} = \pm t_T \cdot y_{OCT} / \sqrt{n}.$$

Отклонение значения переменной от её среднего значения:

$$\Delta x_{\min} = x_i - \bar{x}.$$

Ширина доверительного интервала в i -й точке:

$$\Delta x_i = t_T \cdot \frac{y_{OCT}}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta x_i^2}{y_x^2} + 1} = \Delta x_{\min} \cdot \sqrt{\frac{\Delta x_i^2}{y_x^2} + 1}.$$

Ширина доверительных границ уравнения регрессии в i -й точке:

$$(y_{1,2}) = y_M \pm \Delta x_i, \quad y_{1i} = y_M - \Delta x_i, \quad y_{2i} = y_M + \Delta x_i.$$

Относительная ошибка аппроксимации в i -й точке:

$$E_i = \frac{y_i - y_{Mi}}{y_i}.$$

Среднее значение относительной ошибки на интервале $x \in [x_1; x_n]$:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n |(y_i - y_{Mi})|}{n \cdot y_i} \cdot 100\%.$$

Разработанная методика структурно-параметрического синтеза математических моделей элементов экосистем основывается на представлении исследуемого объекта как элемента системы, как системы взаимосвязанных элементов, как преобразователя энергии, количества вещества, импульса и информации, как объекта мониторинга и управления экологическим состоянием с оценкой экологичности системы в пространстве вектора экологической безопасности. Структурно-параметрический синтез моделей проводится с использованием принципов систематизации ММ по видам преобразования координат, многоуровневого синтеза и выбора пакетов фун-

кциональных зависимостей, получении состоятельных, несмещённых и эффективных оценок ММ в преобразованных координатах. Применение методов дисперсионного и корреляционного анализа экосистем позволяет оценить адекватность полученных математических моделей, что обеспечивает обработку экспериментально-статистической информации с учётом выбранных видов преобразования координат и построение адекватных математических моделей в удобном для анализа экосистем виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прошин И.А., Сюлин П.В., Таранцев К.В. Системная организация научных исследований экосистем // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – № 02(06). – С. 166–170.
2. Прошин Д.И. Математическое моделирование и обработка информации в исследованиях на ЭВМ / Д.И. Прошин, И.А. Прошин, Н.Н. Мишина [и др.]; Под ред. И.А. Прошина. – Пенза : ПТИ, 2000. – 422 с.
3. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Структурно-параметрический синтез математических моделей объектов исследования по экспериментальным данным // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2009. – № 1. – С. 110–115. – (Морская техника и технология).
4. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Построение математических моделей в задачах обработки экспериментально-статистической информации // Известия Самарского научного центра РАН. Авиационно-космическое машиностроение. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2012. – Т. 14. – № 1(2). – С. 425–428.
5. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Автоматизированная обработка информации в системах управления технологическими процессами : Монография. – Пенза : ПГТА, 2012. – 380 с.
6. Бормотов А.Н., Прошин И.А., Королёв Е.В. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов : Монография. – Пенза : ПГТА, 2011. – 394 с.
7. Прошин Д.И. Структурно-параметрический синтез математических моделей в задачах обработки экспериментально-статистической информации / Д.И. Прошин, И.А. Прошин, Н.Н. Прошина. – Пенза : ПГТА, 2007. – 177 с.

УДК 504.75

ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ЧИСЛА И ИНДЕКСЫ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ

© *О.А. Логвина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *Ю.О. Логвин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

INTERVAL NUMBER AND INDICES OF POLLUTION

© *O.A. Logvina, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *Y.O. Logvin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Статья посвящена использованию интервальных чисел для определения комбинаторного индекса загрязнённости и индекса загрязнённости воды с целью комплексной оценки загрязнённости поверхностных вод.

Ключевые слова: моделируемая система, содержание примесей, комбинаторный индекс загрязнённости, индекс загрязнённости воды, интервальные числа.

The article is devoted to the use of interval numbers to determine the combinatorial index of pollution and water pollution index to a comprehensive assessment of surface water pollution.

Key words: the modeled system, the content of impurities, combinatorial pollution index, the index of water pollution, interval number.

E-mail: Olga_kr@list.ru

Проблема качества воды является на данный момент наиболее актуальной для здоровья населения, а также сохранения популяций рыб, водоплавающих птиц, других животных и растительного мира водоёмов. Важной составляющей мониторинга водных объектов является определение их загрязнённости. Современной науке известно более 2,5 тыс. загрязнителей природных вод. Для обеспечения мероприятий по рациональному природопользованию и предотвращения возможных опасных ситуаций необходимы точные данные о качестве воды.

Известно, что Пензенская область располагается на водоразделе бассейнов двух крупных рек – Волжского и Донского. В регионе насчитывается 2746 ручьев и рек общей протяженностью 15458 км, в том числе 302 большие реки протяженностью от 10 до 200 км. Такое огромное количество водных объектов на территории региона позволяет сделать вывод об исключительной важности мониторинга их состояния.

Химический состав природных вод исходно весьма сложен и отличается большим разнообразием, что уже ставит перед исследователями задачу определения идеального состава воды. В результате хозяйственной деятельности в водные объекты поступает большое количество загрязняющих веществ, количество и качество которых непрерывно меняется. Поскольку единичные измерения не могут дать полного представления о суммарном за-

ряжении водных объектов, необходима комплексная оценка загрязнённости поверхностных вод. В целях учёта влияния большого количества разнородных параметров, нормальные показатели значений которых задаются как числами, так и значениями из некоторого допустимого интервала, используются самые различные математические модели. Принято выделять такие функции моделирования, как дескриптивная, прогностическая и нормативная; остановимся на дескриптивной и нормативной функциях моделирования. Если мы сможем описать состояние системы, задать критерии оценки ее состояния, то сможем и описать существующую систему и построить ее нормативный образ. Это позволит, в свою очередь, прогнозировать свойства системы и даже в какой-то мере корректировать за счёт оптимизации.

Современные методы исследования позволяют определить почти все ингредиенты природного состава вод и загрязнений. Некоторые модели рассматривают показатели изолированно, без учёта их взаимосвязи и взаимозависимости, но используются и комплексные оценки качества воды в природных водоемах.

Все модели построены на общем требовании к качеству воды: фактически наблюдаемое содержание загрязняющих веществ не должно превышать ПДК.

СанПиН 2.1.4.1116 02 “Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества”, введённый в действие в 2002 году, подразделяет воду на воду первой и высшей категорий. Они различаются по содержанию примесей: вода высшей категории должна содержать меньше ртути, свинца, хрома, цинка, бора, мышьяка, брома, сульфатов, хлоридов, нитратов и нитритов, натрия, алюминия, аммиака, органических примесей, в том числе бензпирена и нефтепродуктов.

К воде высшей категории по сравнению с первой категорией СанПиН предъявляет неодинаковые требования по содержанию таких полезных веществ, как йод, калий, кальций, магний, фтор. Допустимое содержание кальция в воде первой категории 130 мг/л, в воде высшей категории 25–80 мг/л.; магния – 65 и 50 мг/л, калия – 20 и 2–20 мг/л, соответственно. Эти требования обусловлены попыткой приблизить состав воды к некоторому нормативу физиологической полноценности воды. Наш организм нуждается в калии и магнии, но их содержание в воде, особенно высшей категории, ограничено.

Таким образом, построение нормативного образа “идеальной воды” затрудняется отсутствием чётко сформулированного идеального состава воды разных категорий или разного назначения. Очевидно, однако, что за такую “идеальную воду” никак нельзя принять идеально чистую дистиллированную воду, не имеющую абсолютно никаких примесей. Воспользуемся общедоступными данными по содержанию примесей в различных видах питьевой воды (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание примесей в питьевой воде

	РН	Жёсткость, мг-экв/л	Общая минерали- зация, г	Гидро- карбонат HCO ₃	Суль- фат SO ₄	Хло- рид Cl	Ca	Mg	Fe	F
I категория	6,5–8,5	7			250				0,3	1,5
Высшая категория	6,5–8,5	1,5–7			150				0,3	0,6– 1,2
Аква лайт	7,3	0,5		61	36,6	7	17,5	9,5	<0,1	0,69
Сарова	7,9	1,84	0,2168	220,2	9,8	2,7	16,6	5,9	<0,1	0,005
Ватер-холл	7	3,5					>28	>10		
Ессентуки Лайт		1,5	0,343	97,6	82,3		32	19,4		
Горная вершина	7,6		0,22	76	12	12	61	25		

Такой разброс представленного химического состава воды даёт основание считать идеальным состав питьевой воды, содержащей определённое количество полезных примесей, задаваемое скорее интервалом значений (например, F – 0,6–1,2), чем конкретным числом.

Тогда мы естественным образом приходим к удобству использования интервальных чисел для создания такого нормативного образа. Такие числа задаются интервалами их возможных значений, без указания какого-либо распределения этих значений внутри интервала и несут минимум информации о неопределённом числе. Это упрощает задачу исследователя в таких случаях, когда задаться большим количеством точечной информации не представляется возможным, например в случае с идеальным составом питьевой воды. Существует более общий класс неопределённых чисел, чем интервальные числа – недетерминированные числа, у которых также отсутствуют указания о каком-либо распределении значений числа внутри заданной области возможных значений, однако сама область сложнее интервала, что делает их применение излишне сложным.

Будем считать параметры рассматриваемой воды заданными интервально, например для воды I категории, рН задаётся интервалом значений $[6,5; 8,5]$, жёсткость $[0; 7]$. Пусть рассматриваются n параметров $x^1, x^2, \dots, x^n$, описывающих состав воды и определённых с точностью до замкнутых интервалов возможных значений $x^1 \in \bar{x}^1 = [x_1^1, x_2^1]$, $x^2 \in \bar{x}^2 = [x_1^2, x_2^2]$, ..., $x^n \in \bar{x}^n = [x_1^n, x_2^n]$. Будем рассматривать функцию интегральной оценки качества воды, в качестве которой может рассматриваться комбинаторный индекс загрязнённости или индекс загрязнённости воды.

С учётом сделанных замечаний, в понятиях интервальной математики, те же нормативы содержания примесей в воде будут выглядеть несколько иначе (табл. 2).

Таблица 2 – Требования к содержанию примесей в питьевой воде

	РН	Жёст- кость, мг- экв/л	Общая минерали- зация, г	Гидро- карбо- нат HCO ₃	Сульфат SO ₄	Хлорид Cl	Ca	Mg	Fe	F
I категория	[6,5; 8,5]	[0; 7]			[0; 250]				[0; 0,3]	[0; 1,5]
Высшая категория	[6,5; 8,5]	[1,5; 7]			[0; 150]				[0; 0,3]	[0,6; 1,2]

Требования вида “жёсткость, 7 мг-экв/л” вызывают вопросы о нижней границе требуемого значения; исходя из наших предположений, она должна быть равна 0. Запись вида [0, 7] полностью устраняет такие вопросы. Ещё одна проблема – точность заданных граничных значений. Разумеется, чем меньше содержание вредных примесей в воде, тем лучше. Однако есть такое понятие, как точность измерений. К примеру, запись данных 0,2168 или 0,22 г (“общая минерализация”) уже показывает, что измерения проводились с различной точностью. Вполне возможно, что реально общая минерализация данных образцов воды одинакова: $0,2168 \approx 0,22$, просто данные приведены с различных округлением. Чаще всего данные записываются в виде $0,22 \pm 0,05$ и т.п. При переходе к использованию интервальных чисел мы избегаем необходимости такого уточнения, задавая значения в виде [0,215; 0,225].

Используемый в гидрохимической практике комбинаторный индекс загрязнённости определяет интегральную оценку качества воды по совокупности находящихся в ней загрязняющих веществ и частоты их обнаружения. Для каждого вещества отдельно определяется величина оценочного балла B_i :

$$K_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}; H_i = \frac{N_{\text{ПДК}_i}}{N_i}; B_i = K_i H_i.$$

где C_i – концентрация в воде i -го ингредиента; ПДК_i – предельно допустимая концентрация – i -го ингредиента для водоемов рыбохозяйственного назначения; $N_{\text{ПДК}_i}$ – число случаев превышения ПДК по i -му ингредиенту; N_i – общее число измерений i -го ингредиента.

Комбинаторный индекс загрязнённости рассчитывается как сумма общих оценочных баллов всех учитываемых ингредиентов, по его значению устанавливается класс загрязнённости воды. Несомненным достоинством такого подхода является его комплексность, несколько труднее составлять прогноз на основе вычисления комбинаторного индекса загрязнённости. Поскольку число измерений всегда натуральное число, то некоторые затруднения вызывает только необходимость определения точными числами реально фиксируемых концентраций.

Если концентрация в воде i -го ингредиента C_i может быть определена как $[a_i, b_i]$, то $B_i = K_i H_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \cdot \frac{N_{\text{ПДК}_i}}{N_i} = \alpha_i \cdot [a_i, b_i]$, где

$$\frac{N_{\text{ПДК}_i}}{N_i \cdot \text{ПДК}_i} = \alpha_i - \text{действительное число.}$$

При гидрохимическом мониторинге используется также индекс загрязненности воды

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где C_i – среднее значение определяемого показателя за период наблюдений (это среднее значение за год); ПДК_i – предельно-допустимая концентрация для данного загрязняющего вещества.

При определении индекса загрязненности воды учитывается всего шесть показателей, что снижает точность оценки качества воды и возможного прогнозирования. Фиксируемые концентрации при определении индекса загрязненности воды также рассматриваются как числа, однако могут быть точнее выражены интервалами.

Считая $C_i = [a_i, b_i]$, можем записать

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \beta_i \cdot [a_i, b_i], \text{ где } \beta_i = \frac{1}{\text{ПДК}_i}.$$

В случае когда аргументы определены с точностью до замкнутых интервалов возможных значений, значение функций также окажется определённым с точностью до интервала возможных значений. Тогда функция z также определяется с точностью до интервала определённых значений $z \in \bar{z} = [z_1, z_2]$.

Воспользовавшись известными понятиями сложения и умножения на постоянное число для чисел, заданных интервалами:

$$\bar{z} = \bar{x}^i \pm \bar{x}^j = \{x^i \pm x^j / x^i \in \bar{x}^i, x^j \in \bar{x}^j\},$$

$$\bar{z} = k\bar{x}^i = \{kx^i / x^i \in \bar{x}^i, k = \text{const}\},$$

получим окончательные значения комбинаторного индекса загрязненности B_i для i -го ингредиента и индекс загрязненности воды ИЗВ:

$$B_i = \alpha_i \cdot [a_i, b_i] \text{ и } \text{ИЗВ} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \beta_i \cdot [a_i, b_i]$$

определёнными интервальными значениями. Это позволяет использовать приведённые выше комбинаторный индекс загрязнённости и индекс загрязнённости воды для оценки качества воды в том случае, когда рассматриваются не усреднённые значения величин предельно допустимых и фиксируемых концентраций, но и в случае их интервального определения.

Таким образом, применение элементов интервальной математики при моделировании загрязнения водных объектов позволяет точно формулировать нормативы и оценочные индексы комплексной оценки загрязнённости поверхностных вод и использовать их при определении качества питьевой воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крючков Ю.О., Целикин И.А., Крючкова (Логвина) О.А., Таранцева К.Р. Количественная оценка отклонений в состоянии технических и биотехнических систем // *Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании : Сборник статей XVIII международной НТК.* – Пенза : ПГТА, 2006. – С. 94.
2. Бубнова Н.Я., Логвина О.А., Таранцева К.Р. Экологическая безопасность и техногенный риск // *Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы : Международная научно-практическая конференция.* – Пенза : МНИЦ, 2007. – С. 49–53.
3. Логвина О.А., Казаков В.А. Анализ рисков при обеспечении безопасности газопроводов // *Труды XXIII Международного симпозиума.* – Маскат (Оман) : РГУИТиП, 2008. – С. 56.
4. Коновалов В.В., Логвина О.А. Моделирование состояния экологической системы // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал.* – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 159–162. – (Экология).
5. Логвин Ю.О., Таранцева К.Р., Логвина О.А., Коновалов В.В. Моделирование безопасности и рисков на газопроводах // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал.* – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 125–132. – (Экология).
6. Логвина О.А. Количественные критерии оценки состояния сложных систем // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал.* – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 95–102. – (Экология).
7. Логвина О.А., Бубнова Н.Я., Горячева А.А., Логвин Ю.О. Проблема термального загрязнения // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал.* – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 73–79. – (Экология).

**СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ
МУЛЬТИДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ
С ПОСТУРАЛЬНЫМ ДЕФИЦИТОМ**

- © *Т.В. Истомина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
- © *И.А. Филатов, ООО "БИОСОФТ-М" (г. Москва, Россия)*
- © *А.И. Сафронов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
- © *В.В. Истомин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
- © *Д.А. Загребин, ООО "БИОСОФТ-М" (г. Москва, Россия)*
- © *Д.М. Пучиньян, ФГБУ ВПО СарНИИТО (г. Саратов, Россия)*
- © *А.В. Кондрашкин, ФГБУ ВПО СарНИИТО (г. Саратов, Россия)*
- © *С.А. Карпицкая, ГБОУ ДПО "Пензенский институт усовершенствования врачей" (г. Пенза, Россия)*

**MODERN EQUIPMENT FOR REMOTE MUL'TIDIAGNOSTIKI AND
REHABILITATION OF PATIENTS WITH POSTURE DEFICITS**

- © *T.V. Istomina, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
- © *I.A. Filatov, "BIOSOFT LLC-m" (Moscow, Russia)*
- © *A.I. Safronov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
- © *V.V. Istomin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
- © *D.A. Zagrebina, "BIOSOFT LLC-m" (Moscow, Russia)*
- © *D.M. Puchin'yan, FGBU HVE "SarNIITO" (Saratov, Russia)*
- © *A.V. Kondrashkin, FGBU HVE "SarNIITO" (Saratov, Russia)*
- © *S.A. Karpickaya, GBOU DPO "Penza Institute for advanced medical" (Penza, Russia)*

В статье описана система с уникальным комплексом дистанционной мультидиагностики, позволяющая проводить длительную реабилитацию пациентов с постуральным дефицитом в условиях удаленного доступа через Интернет. Комплекс дает возможность врачу-реабилитологу контролировать процесс реабилитации на основе динамики ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ и стабилотраммы, а также проводить реабилитационные мероприятия с использованием принципов биологической обратной связи. Приведены результаты тестовых испытаний опытного образца у 31 больного с постуральным дефицитом.

Ключевые слова: дистанционная мультидиагностика, реабилитология, постуральный дефицит, биологическая обратная связь.

Describes a system with a unique complex of remote mul'tidiagnostiki, allowing to perform long-term rehabilitation of patients with posture deficits in a remote access via the Internet. The complex provides a rehabilitologu to control the process of rehabilitation based on the dynamics of ECG, EEG, EMG and stabilogrammy, as well as rehabilitation activities, using the principles of biofeedback. The results of prototype tests in 31 patients with posture deficits.

Key words: remote mul'tidiagnostika, rehabilitologiv, postural deficit, biofeedback.

E-mail: istom@mail.ru

Полноценная реабилитация больных после операций эндопротезирования крупных суставов, а также реабилитационные мероприятия у пациентов, перенесших инсульт, черепно-мозговую или спинальную травму, занимают длительное время и требуют строгого наблюдения специалиста-реабилитолога. В случае замены тазобедренного сустава, например, реабилитационный период может продолжаться 10-12 месяцев, у больных с инсультом или черепно-мозговой травмой реабилитация вообще может длиться годами [3, 6, 16, 30]. Госпитализация в специальный центр для восстановительного лечения под руководством специалистов-реабилитологов на столь длительные сроки нереальна, прежде всего, по экономическим соображениям (как у нас, так и за рубежом). Поэтому больные вынуждены, как минимум, в течение года самостоятельно восстанавливать нарушенные функции, руководствуясь лишь рекомендациями лечащего врача при выписке. Результаты высокотехнологического и дорогостоящего оперативного вмешательства при эндопротезировании, а также реабилитация после инсульта или спинальной травмы могут оказаться неудовлетворительными.

Цена вопроса весьма значительна. По данным большинства зарубежных и отечественных авторов потребность в эндопротезировании тазобедренного сустава, например, в Российской Федерации составляет около 300000 операций в год (пока выполняется чуть более 30 тысяч, но эта цифра стремительно растет) [16, 18, 30]. Считается, что неудовлетворительные результаты эндопротезирования тазобедренного сустава составляют 8-10 % [3, 13, 17]. Из этого числа как минимум 2 % приходится на больных, у которых послеоперационная реабилитация проведена неполноценно. При стоимости операции в 200 тыс. рублей ежегодные потери отечественного здравоохранения (из-за неполноценной реабилитации) составляют 1,2 млрд. рублей. Такого же порядка затраты оцениваются при анализе реабилитационного периода у больных, перенесших инсульт, черепно-мозговую или спинальную травму.

Современная медицинская реабилитация указанной категории больных в настоящее время включает комплекс лечебно-диагностических мероприятий, направленных на полноценное функциональное, социально-бытовое и профессиональное восстановление пациентов. Комплексная программа реабилитации в каждом конкретном случае строго индивидуальна, она подбирается врачом-реабилитологом с целью восстановления утраченного объема движений в суставах и максимально быстрого возвращения больного к привычному образу жизни [3, 13, 16, 20, 28].

Традиционным подходом в реабилитации данной категории больных является акцент на комплексное применение методов и методик кинезотерапии. При этом даже пациенты, восстановление которых происходит успешно, нуждаются в регулярном наблюдении врача [3, 9, 13, 17, 18]. Чем подробнее и тщательнее консультирует врач больного, чем основательнее подходит пациент к выполнению рекомендаций врача, тем большая вероятность полного восстановления и возвращения к прежней жизни.

Проявления одной и той же патологии у разных пациентов могут быть различны, поэтому подходы к терапии также могут существенно раз-

личаться. Наиболее эффективной стратегией мониторинга в этих случаях является доказательный мультидисциплинарный подход, основанный на постоянном наблюдении за динамикой лечения в связи с множественными нарушениями работы организма.

В последние годы в реабилитационных мероприятиях активно используются методы, основанные на принципе биологической обратной связи (БОС), которые позволяют осуществлять целенаправленную тренировку ослабленных мышц, восстанавливать проприорецептивное “мышечное чувство”, производить коррекцию реципрокных взаимоотношений мышц-антагонистов, устранять патологические синергии, формировать новый двигательный навык простых локомоторных актов [4, 7, 14, 15, 17, 19, 24, 26–29]. Это позволяет перейти от привычной “монодиагностики” к “мультидиагностическому” принципу контроля состояния больного, что является основой для совершенствования индивидуального подхода к лечебно-диагностическому процессу в каждом конкретном случае. Мультидиагностический принцип контроля особенно эффективен в популяции больных после эндопротезирования крупных суставов, после инсультов и после травм центральной нервной системы, поскольку, как правило, здесь наибольший процент пожилых пациентов, имеющих обширный набор сопутствующих заболеваний сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, нарушений обменного характера, эндокринной патологии.

В условиях бурного внедрения информационных технологий в клиническую практику проблема дистанционных принципов реабилитации все увереннее переходит в плоскость практической реализации, хотя теоретические аспекты этой проблемы интересуют исследователей сравнительно недавно [1, 2, 5, 10–12]. Клиническим опытом дистанционного управления процессом диагностики и реабилитации больных указанной категории через Интернет отечественная медицина не располагает.

Идея дистанционной реабилитации заключается в том, чтобы предоставить возможность опытному врачу осуществлять реабилитационные мероприятия многим больным независимо от их местонахождения. Для этого необходимо регистрировать наиболее информативные параметры больного там, где находится пациент, и дистанционно передавать эти параметры для дальнейшего анализа специалистом, отсутствующим на месте регистрации. Это может обеспечить эффект присутствия врача у постели больного. Регистрация параметров “на местах” может производиться средним медперсоналом или врачами другой специализации либо (при соответствующих навыках) самим больным. При наличии сети Интернет и Skype такая связь между врачом и пациентом может быть осуществлена без каких-либо технических затруднений. Для этого необходимы мобильные регистраторы – компактные и несложные в управлении устройства, с помощью которых можно зарегистрировать и сохранить параметры больного, а затем передать их для дальнейшего анализа по доступным каналам связи врачу-реабилитологу не реже двух раз в неделю в зависимости от периода реабилитации. Исходя из общей картины течения реабилитации, врач может проводить коррекцию реабилитационных мероприятий путем рекомендаций по двигательной-

му режиму, по ЛФК, по физиотерапии, по диетотерапии, по дополнительным исследованиям в местной поликлинике, а также может дать другие необходимые, по его мнению, рекомендации.

В результате сотрудничества компаний ООО “БИОТЕХСИСТЕМЫ” (г. Пенза), ООО “БИОМЕДТЕХНИКА” (г. Пенза) и ООО “БИОСОФТ-М” (г. Москва) разработан уникальный комплекс дистанционной мультидиагностики пациентов с дисфункциями опорно-двигательного аппарата в послеоперационный период. Реализуемая в комплексе методика позволяет перейти от эмпирических, приблизительных рекомендаций к точным значениям, рассчитанным на основании многофакторных характеристик каждого пациента и синхронной регистрации результатов комплексного исследования пациента методиками компьютерной стабильности, электрокардиографии, электромиографии, электроэнцефалографии комплексом дистанционной мультидиагностики “ВебМультиМедик” [2, 11, 12].

Автоматизированное рабочее место врача-реабилитолога и мобильный регистратор оснащаются специализированным программным обеспечением и лицензионными ключами. Каждый ключ выполняет идентификацию врача/пациента на web-сервере и лицензирует набор функциональности для задач регистрации, обработки и анализа данных диагностики. Так, ключ пациента позволяет автоматически ассоциировать потоки диагностической информации на сервере с данными его регистрационной карточки, ключ врача – лицензировать дистанционный доступ по каналам Интернета к результатам исследований пациента и функциям их обработки.

Программное обеспечение Unimonex Home реализует процесс исследования пациента в виде последовательности шагов, каждый из которых соответствует определенному этапу обследования: настройки, установки каналов измерений, регистрации сигналов, передачи данных мультидиагностики на web-сервер, скачивание данных с web-сервера и автоматическая ассоциация их с карточкой пациента в базе данных WinPatientExpert, подготовка заключения и документирование.

Система дистанционной диагностики “ВебМультиМедик” работоспособна, если гарантированная скорость передачи и приёма данных составляет не менее 40 Кб/сек. При отсутствии устойчивой связи с Интернетом система автоматически переходит в режим off-line передачи результатов удалённого обследования, обеспечивая передачу данных в отложенном режиме.

Для обеспечения каналов мобильного Интернета система “ВебМультиМедик” комплектуется следующим оборудованием:

- многоканальный маршрутизатор беспроводного интернет-хостинга для обеспечения отказоустойчивости и надежности дистанционной передачи результатов медицинских исследований;
- комплект высокоскоростных 3G модемов с расширенной полосой пропускания;
- Wi-Fi репитер с внешней антенной;
- интернет-центр для подключения через USB-модем 3G/4G с точкой доступа Wi-Fi 802.11n 150 Мбит/с и коммутатором Ethernet.

В 2012 г. проведены тестовые испытания опытных образцов системы дистанционной мультидиагностики “ВебМультиМедик” в лаборатории функциональной диагностики ФГБУ СарНИИТО (г. Саратов) и в клинике кафедры травматологии и ортопедии Пензенского института усовершенствования врачей (табл. 1).

Таблица 1 – Общая характеристика проведенных тестовых испытаний опытных образцов анализатора биопотенциалов мультиканального сетевого “ВебМультиМедик”

Контингент больных	Кол-во больных	Кол-во исследований	Стабилографическое исследование в сочетании с:		
			ЭКГ	ЭЭГ	ЭМГ
Больные после тотального эндопротезирования (коленный или т/б суставы). СарНИИТО	15	30	30	8	30
Больные с повреждением периферических нервов конечностей. СарНИИТО	5	14	14	4	14
Больные после артроскопических операций по поводу повреждений мениска коленного сустава. ПИУВ	11	22	22	-	4
Всего:	31	66	66	12	48

Заключение

Накопленный опыт создания многоканальных систем мониторинга позволил реализовать на практике принципиально новый класс медицинского оборудования, предназначенного для системной диагностики дисфункций организма в режиме удалённой связи.

Положенный в основу разработки принцип интегративной медицины предполагает объединение нескольких методик и средств их реализации в одном комплексе. Применение такого комплекса на практике делает доступным в рамках одного сеанса обследования реализовать сразу несколько методик с синхронной визуализацией и обработкой полученных результатов. Клинические исследования показали, что контроль терапии, основанный на мультидиагностических принципах, применительно к каждому индивидуальному случаю позволяет достичь гораздо лучших результатов по сравнению с обычным подходом, исходящим только из выявленной патологии.

Развитые функциональные возможности “ВебМультиМедик” удачно сочетаются с удобством его эксплуатации как начинающими, так и опытными специалистами для разнообразных задач клинической практики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адашкин А.В. Мультимодальные средства функциональной диагностики летного и диспетчерского состава гражданской авиации / А.В. Адашкин, О.И. Исакова, В.В. Сергейчик [и др.] // Вестник Московского авиационного института. – 2011. – Т. 18. № 3.
2. Акжигитов Р.Ф., Истомина Т.В., Сафронов А.И., Киреев А.В. Мультидиагностическая система для постоперационных больных с эндопротезами // Исследования и инновационные разработки в сфере медицины и фармакологии : Матер. региональной конференции (г. Пенза, 7 июля 2011 г.). – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – С. 3–6.
3. Белоглазова Т.И. Медицинская реабилитация больных после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава / Т.И. Белоглазова,

В.Г. Масленникова, О.В. Кузьменко // *Медицина в Кузбассе*. – 2003. – № 2 (спецвыпуск) – С. 108–110.

4. Гаже П.-М. Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека / Гаже П.-М., Вебер Б.; Пер. с французского под ред. В.И. Усачёва. – СПб. : Издательский дом СПбМАПО, 2008. – 316 с.

5. Гроховский С.С., Кубряк О.В., Филатов И.А. Архитектура сетевых медицинских систем для оценки функции равновесия (стабилометрия) и комплексной оценки состояния человека // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. – 2011. – № 12.

6. Гусев Е.И. Реабилитация в неврологии / Е.И. Гусев, А.Н. Коновалов, А.Б. Гехт // *Кремлевская медицина*. – 2001. – № 5. – С. 29–32.

7. Гусева А.Л., Бауш Я.А., Лучихин Л.А. Опыт применения стабилометрического комплекса ST-150 “Stabip” в физической реабилитации пациентов с вестибулярными расстройствами // *Наука и практика в оториноларингологии* : Материалы IX Всероссийского конгресса оториноларингологов. – Москва, 8–9 ноября 2010.

8. Девликанов Э.О., Болонев А.Г., Балязин В.А., Слива С.С. Стабилография в оценке эффективности лекарственных средств у больных с хронической сосудистой мозговой недостаточностью // *Неврология – реабилитация, биомеханика* : Сборник научно-практических работ. – Москва, 23–25 апреля 2003. – С. 26–27.

9. Епифанов В.А. Физическая реабилитация при цереброваскулярной патологии // *ЛФК и массаж*. – 2002. – № 2. – С. 43–46.

10. Жаворонкова Л.А., Максакова О.А., Киш А.А., Щекутьев Г.А. Использование стабилографии при комплексной оценке динамики реабилитационного процесса больных с последствиями тяжелой черепно-мозговой травмы // *Современные технологии восстановительной медицины* : VII Международная конференция – Сочи, Центральный клинический санаторий им. Ф.Э. Дзержинского, 11–16 мая 2004.

11. Истомин В.В., Истомина Т.В., Киреев А.В., Сафронов А.И. Программно-методическое обеспечение системы дистанционной мультидиагностики и реабилитации больных после эндопротезирования тазобедренного сустава // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2011. – № 1. – С. 113–115.

12. Истомина Т.В. Патент на полезную модель № 122009. Стабилометрический тренажер / Т.В. Истомина, А.В. Киреев, В.В. Истомин [и др.]. Заявка № 2011137881. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 ноября 2012 г.

13. Кадыков А.С. Реабилитация после инсульта – М. : МИК-ЛОШ, 2003. – 176 с.

14. Киселев Д.А., Гроховский С.С., Кубряк О.В. Консервативное лечение нарушений опорной функции нижних конечностей в ортопедии и неврологии с использованием специализированного стабилометрического комплекса ST-150. – М. : Маска, 2011.

15. Кубряк О.В., Гроховский С.С. Постуральный тест с биологической обратной связью в оценке влияния привычного сеанса курения на показатели баланса у здоровых добровольцев // *Наркология*. – 2011. – № 9.

16. Курбанов С.Х. Индивидуальная реабилитация больных после эндопротезирования тазобедренного сустава : Автореф. дис. ...д-ра мед. наук. – СПб., 2009. – 38 с.

17. Майорникова С.А. Методические приемы восстановления функции ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами : Автореф. дис. ...канд. пед. наук. – 2006.

18. Неверов В.А., Курбанов С.Х. Восстановительное лечение дегенеративно-дистрофических заболеваний крупных суставов // Вестник хирургии. – 2004. – № 2. – С. 97–99.

19. Святогор И.А. Метод биоуправления потенциалами головного мозга и его клиническое применение // Биологическая обратная связь. – 2000. – № 1. – С. 5–7.

20. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. – М. : Т.М. Андреева, 2007. – 640 с.

21. Скворцов Д.В. Стабилметрическое исследование. – М. : Маска, 2010.

22. Скворцова В.И. Биомеханические аспекты реабилитации больных с инсультом / В.И. Скворцова, Е.А. Ковражкина, В.В. Гудкова // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2005. – Т. 105, № 7. – С. 2632.

23. Слива С.С. Отечественная компьютерная стабิโลграфия: состояние, проблемы и перспективы / С.С. Слива, И.В. Кондратьев, А.С. Слива // Материалы МИС–2008. – Таганрог, 2008.

24. Сохадзе Э.М. Биологическая обратная связь: анализ тенденций развития экспериментальных исследований и клинического применения / Э.М. Сохадзе, В.И. Хиченко, М.Б. Штарк // Биоуправление-3: теория и практика. – Новосибирск, 1988. – С. 7–16.

25. Усачёв В.И. Стабилметрия в постурологии / В.И. Усачёв, Д.Е. Мохов. – СПб. : СПбМАПО, 2004. – 14 с.

26. Устинова К.И. Технология обучения больных с постинсультными гемипарезами произвольному контролю вертикальной позы с использованием компьютерного биоуправления по стабิโลграмме : Автореф. дис. ...канд. пед. наук. – М., 2000. – 24 с.

27. Черникова Л.А. Оптимизация восстановительного процесса у больных, перенесших инсульт: клинические и нейропсихологические аспекты функционального биоуправления : Автореф. дис. ...д-ра мед. наук. – М., 1998. – 48 с.

28. Черникова Л.А. Клинико-биомеханический анализ позы и ходьбы у больных с постинсультными гемипарезами / Л.А. Черникова, Д.В. Скворцов, А.С. Кадыков // Биомедприбор-2000 : Труды науч.-практич. конф. – М., 2000. – С. 57.

29. Черникова Л.А. Биоуправление по стабิโลграмме в клинике нервных болезней / Л.А. Черникова, К.И. Устинова, М.Е. Иоффе // Бюллетень СО РАМН. – 2004. – № 3. – С. 85–91.

30. Шильников В.А., Тихилов Р.М., Денисов А.О. Болевой синдром после эндопротезирования тазобедренного сустава // Травматология и ортопедия России. – 2008. – № 2 (48). – С. 106–109.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТЕЛ

© *А.В. Киреев, Пензенский государственный технологический университет*
(г. Пенза, Россия)

© *Э.Р. Эмурлаева, Пензенский государственный технологический*
университет (г. Пенза, Россия)

THEORETICAL BASES OF SIMULATION OF PASSIVE ELECTRICAL PROPERTIES OF ELECTROCONDUCTIVE BODIES

© *A.V. Kireev, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *E.R. Emurlaeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Рассмотрены особенности построения модели пассивных электрических свойств электропроводящих тел на основе дифференциальных уравнений с частными производными. Описаны частные случаи, соответствующие выполнению принципа электронейтральности и статичности распределения электрического заряда. Проанализировано влияние формы зондирующего тока на информативность измерений при исследовании внутренней структуры тела. Описана схема построения численного решения для задачи нахождения распределения потенциала внутри тела методом конечных разностей.

Ключевые слова: электропроводность, ток, заряд, распределение потенциала, эллиптическое уравнение, задача Неймана, метод конечных разностей.

Features of passive electrical properties model creation of electroconductive bodies on the basis of differential equations with private derivatives are considered. The special cases corresponding to execution of the electroneutrality principle and static character of distribution of an electrical charge are described. Influence of the form of probing current on informativeness measurements is analyzed in case of research of an inner pattern of a body. The diagram of the numerical decision creation for the task of potential distribution finding in a body is described by a method of finite differences.

Key words: conductance, current, charge, potential distribution, elliptical equation, Neumann's task, method of finite differences.

E-mail: kireewska@mail.ru; elen.em@mail.ru

Возможность получения информации о внутренней структуре тела по результатам зондирования внешним электрическим током на его поверхности является весьма привлекательной, так как её реализация предполагает использование недорогой, простой и удобной в применении измерительной аппаратуры, а круг потенциальных практических приложений, основанных на этом принципе интроскопических методов, очень широк. Однако с математической точки зрения задача реконструкции распределения электрических параметров внутри тела и по результатам измерений на его поверхности является крайне сложной, и в настоящее время не существует эффективных алгоритмов для её решения.

Основными параметрами среды, определяющими её поведение под действием внешнего электрического поля, в рамках линейной модели, являются электропроводность и диэлектрическая проницаемость. Состояние любой

точки среды при этом полностью характеризуется тремя параметрами: плотностью электрического тока, потенциалом электрического поля и плотностью электрического заряда. Количественные соотношения между этими параметрами устанавливаются фундаментальными физическими закономерностями.

Так, взаимосвязь плотности тока, электропроводности и потенциала электрического поля определяется законом электропроводности

$$\vec{J} = \lambda_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \lambda_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \lambda_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}, \quad (1)$$

где J – плотность тока электропроводности, $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ – величины удельной электропроводности в направлениях x, y, z (для изотропной среды они одинаковы), φ – потенциал электрического поля, i, j, k – ортонормальный базис векторов.

Взаимосвязь плотности тока электропроводности и плотности электрического заряда определяется законом сохранения заряда, который применительно к рассматриваемой задаче может быть записан в следующем виде

$$\frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z} = -\frac{\partial q}{\partial t}, \quad (2)$$

где q – плотность электрического заряда, t – время.

Взаимосвязь плотности электрического заряда с потенциалом электрического поля определяется уравнением Пуассона [1]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = -\frac{q}{\epsilon_0}, \quad (3)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая постоянная, $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ – величины относительной диэлектрической проницаемости среды в направлениях x, y, z .

Уравнения (1)–(3) вместе дают исчерпывающее математическое описание пассивных электрических свойств среды в рамках линейной модели. Однако в общем виде такое описание оказывается слишком сложным для практического использования, и это заставляет искать пути его упрощения, основанные на введении различных допущений и ограничений.

Одним из допущений, позволяющим существенно упростить модель пассивных электрических свойств электропроводящего тела, является допущение о выполнении принципа электронейтральности. В этом случае если среда изотропна и $\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z$, уравнение (3) сводится к уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (4)$$

на основании которого можно вычислить распределение потенциала внутри тела исходя из распределения потенциала на его поверхности (задача Дирихле) или исходя из распределения по поверхности нормальной составляющей вектора напряженности (задача Неймана). Однако согласно (4) распределение потенциала внутри тела совершенно не зависит от его пассивных электрических параметров и от характера их распределения.

Поэтому уравнение (4) в принципе нельзя использовать для реконструкции внутренней структуры тела. Выполнение принципа электронейтральности исключает саму возможность получения какой-либо информации о внутренней структуре тела по результатам зондирования внешним электрическим током. Именно заряд, накопленный в различных участках исследуемого тела и влияющий на поверхностное распределение электрического потенциала, является основным источником информации о внутренней структуре.

Электрическое поле реального тела может быть представлено как сумма гармонического поля, описываемого уравнением (4), и поля, порождаемого внутренними зарядами. Так как гармоническое поле не несёт никакой информации о внутренней структуре тела, то уменьшение доли, приходящейся на него в результирующем поле, повышает информативность измерений. При прочих равных условиях это достигается только за счёт уменьшения соотношения силы тока, протекающего через тело, и накапливаемого в нём заряда.

В случае использования переменного тока заданной амплитуды максимальный заряд, накапливаемый в теле, ограничен полупериодом его колебаний. Судя по литературным данным [2], постоянная времени тела человека, определяемая как произведение диэлектрической проницаемости и удельного электрического сопротивления, на очень низких частотах составляет около 50 мкс. Из этого следует, что под действием внешнего тока, изменяющегося с частотой менее 2 кГц, за время одного периода в теле успеет накопиться больше 99 % от максимально возможного при данной силе тока заряда. В то время как на частотах, превышающих 10 кГц, это значение составит не более 50 %.

Колебания заряда тела в общем случае не совпадают по фазе с колебаниями вызывающего их тока. Поэтому доля гармонической составляющей в результирующем поле, возбуждаемом переменным током, меняется с течением времени. При резком отключении внешнего тока гармоническая составляющая поля полностью исчезает, а сохраняющееся некоторое время остаточное поле полностью обусловлено действием накопленных внутри тела зарядов. В этот момент возможно достижение максимальной информативности измерений.

Со временем, вследствие перераспределения внутреннего заряда, остаточное поле тела ослабевает по экспоненциальному закону, как это показано на рисунке 1, и его становится сложно зарегистрировать на фоне посторонних шумов. Скорость падения напряженности остаточного поля в первом приближении определяется всё той же постоянной времени. Так, для тела человека напряженность остаточного поля ослабевает в 2 раза в течение 30 мкс.

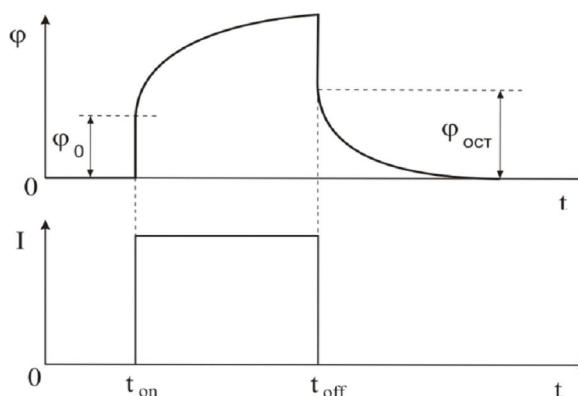


Рисунок 1 – Изменение электрического потенциала точки на поверхности тела под действием прямоугольного импульса внешнего зондирующего тока

Вторым допущением, которое можно использовать для упрощения общей модели пассивных электрических свойств тела является допущение о статичности внутреннего распределения электрического заряда. В этом случае для описания пассивных электрических свойств тела достаточно использовать только уравнения (1) и (2), так как правая часть уравнения (2) обращается в нуль и плотность заряда, определяемая уравнением (3), уже не оказывает на эти свойства непосредственного влияния. Исключение плотности тока в результате подстановки уравнения (1) в уравнение (2) в случае изотропной среды приводит к эллиптическому уравнению следующего вида

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \frac{\partial \ln(\lambda)}{\partial x} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \ln(\lambda)}{\partial y} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial \ln(\lambda)}{\partial z} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0. \quad (5)$$

Уравнение (5) может быть использовано как для реконструкции внутреннего распределения электропроводности по результатам зондирования постоянным или медленно изменяющимся внешним током, так и для моделирования пассивных электрических свойств тела с известным внутренним распределением электропроводности, проявляемых под действием постоянного тока.

В первом случае рассматривается задача Дирихле и в качестве граничных условий уравнения (5) используется регистрируемое поверхностное распределение потенциала. Однако для уравнения (5) эта задача неразрешима при неизвестном внутреннем распределении электропроводности, что затрудняет саму формализацию задачи реконструкции, не говоря уже об её решении.

Во втором случае рассматривается задача Неймана, и в качестве граничных условий уравнения (5) используется поверхностное распределение нормальной составляющей напряженности электрического поля, которая отлична от нуля только в местах инъекции внешнего тока. В них нормальная составляющая напряженности может быть найдена по следующей формуле

$$E_n = I / (\lambda_0 \cdot S_p), \quad (6)$$

где I – сила тока, подводимого к электроду, S_p – площадь поверхности электрода, λ_0 – электропроводность тела непосредственно под электродом.

Наиболее простое, хотя возможно и не самое эффективное, решение задачи моделирования может быть получено методом конечных разностей [3]. Особенно просто оно реализуется для плоской задачи, к которой сводится исходная задача при пренебрежении изменениями параметров тела в направлении одной из координат. При этом в занимаемой телом области пространства строится равномерная квадратная сетка с заданным шагом Δ (рис. 2).

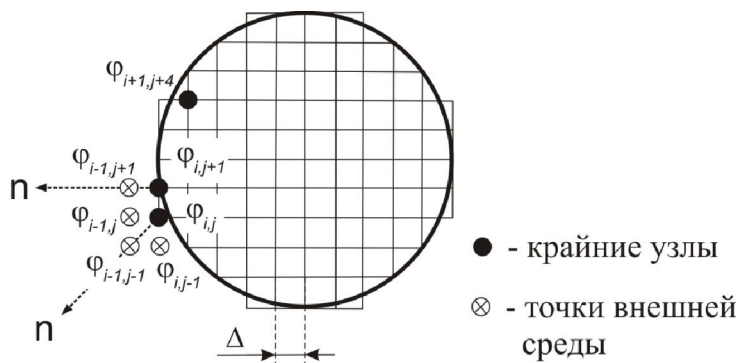


Рисунок 2 – Построение равномерной квадратной сетки в теле круглой формы

Для каждого узла сетки относительно неизвестных потенциалов $\varphi_{i,j}$ составляется уравнение, получаемое из уравнения (5) путём замены дифференциалов на разности

$$4\varphi_{i,j} + \left(\frac{1}{4} \ln \frac{\lambda_{i+1,j}}{\lambda_{i-1,j}} - 1 \right) \varphi_{i+1,j} - \left(\frac{1}{4} \ln \frac{\lambda_{i+1,j}}{\lambda_{i-1,j}} + 1 \right) \varphi_{i-1,j} + \\ + \left(\frac{1}{4} \ln \frac{\lambda_{i,j+1}}{\lambda_{i,j-1}} - 1 \right) \varphi_{i,j+1} - \left(\frac{1}{4} \ln \frac{\lambda_{i,j+1}}{\lambda_{i,j-1}} + 1 \right) \varphi_{i,j-1} = 0. \quad (7)$$

При составлении уравнения (7) для крайних узлов расчётной сетки необходимо учитывать граничные условия, так как это уравнение содержит неопределённые параметры точек внешней среды, выходящих за пределы расчётной области. Способ введения граничных условий зависит от расположения крайнего узла. Для крайних узлов, лежащих на внутренних углах расчётной сетки, например $\varphi_{i+1,j+4}$ на рисунке 2, введение граничных условий не требуется, так как они полностью окружены узлами расчётной области. Для крайних узлов, лежащих на прямой границе расчётной области, потенциалы точек внешней среды определяются согласно формуле (6), которая после выражения напряженности через потенциалы и дискретизации принимает следующий вид

$$\Phi_{\infty} = \Phi_{i,j} - \frac{\Delta \cdot I}{\lambda_{i,j} \cdot S_P}, \quad (8)$$

где $\lambda_{i,j}$ – электропроводность среды в крайнем узле, Δ – шаг расчётной сетки.

В случае отсутствия внешнего тока потенциалы точек внешней среды принимаются равными потенциалам самих узлов $\Phi_{\infty} = \Phi_{i,j}$, что соответствует нулевой нормальной составляющей напряженности на поверхности тела и непосредственно вытекает из формулы (8) при $I = 0$.

При составлении уравнений для крайних узлов, лежащих на внешних углах расчётной сетки, например $\Phi_{i,j}$ на рисунке 2, требуется определение потенциалов внешней среды сразу в двух точках ($\Phi_{i-1,j}$ и $\Phi_{i,j-1}$), ни одна из которых не лежит на нормали к поверхности тела n . Следовательно, формула (8) оказывается непригодной для определения потенциалов этих точек.

Для крайних узлов, расположенных на внешних углах расчётной сетки потенциалы точек внешней среды определяются по формуле

$$\Phi_{\infty} = \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \Phi_{i,j} + \frac{\sqrt{2}}{2} \Phi^* - \frac{\sqrt{2} \cdot \Delta \cdot I}{\lambda_{i,j} \cdot S_P}, \quad (9)$$

где Φ^* – потенциал соседней точки, расположенной на расстоянии Δ от рассматриваемой точки внешней среды, на расстоянии $\Delta \sqrt{2}$ от соответствующего ей крайнего узла, ближе всего к поверхности (на рисунке 2 это точка $\Phi_{i-1,j+1}$).

Для каждого крайнего узла имеются две соседние точки, по которым, согласно (9), можно определить потенциалы обеих точек внешней среды. Если соседняя точка лежит непосредственно на поверхности и является крайним узлом расчётной сетки, то потенциал этой точки определяется соответствующей переменной. Если соседняя точка лежит напротив прямой поверхности, то её потенциал выражается через потенциал другого крайнего узла, согласно (8). Если же соседняя точка расположена напротив внешнего угла расчётной сетки, то её потенциал выражается через потенциал другого крайнего узла, согласно (9).

Электропроводности точек внешней среды, соответствующих точкам подведения внешнего тока, для наилучшего согласования с условиями реальных измерений следует принять равными электропроводности токоподводящих электродов, которая на семь порядков превышает электропроводность прилегающих тканей, и это вполне допустимо, так как впоследствии операция логарифмирования резко уменьшает эти различия. Для остальных крайних узлов электропроводность точек внешней среды следует принять равной нулю, что соответствует расположению тела в непроводящей среде.

Описанная вычислительная схема может быть реализована в различных программных пакетах, в частности весьма перспективным видится при-

менение для этой цели пакета прикладных программ Matlab, предоставляющего самые широкие возможности для реализации разнообразных алгоритмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред. – М. : Наука, 1982. – С. 57.
2. Мартиросов Э.Г. Технологии и методы определения состава тела человека / Э.Г. Мартиросов, Д.В. Николаев, С.Г. Руднев. – М. : Наука, 2006. – С. 104–105.
3. Ильин В.П. Методы конечных разностей и конечных объёмов для эллиптических уравнений. – Новосибирск : Изд-во Ин-та математики, 2000. – 345 с.

УДК 631.363.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ БАРАБАННЫМ СМЕСИТЕЛЕМ

- © **В.В. Коновалов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **Н.В. Димитриев**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **А.А. Курочкин**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **Г.В. Шабурова**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

MODELING OF QUALITY MIX OF LOOSE MATERIALS DRUM MIXER

- © **V.V. Konovalov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © **N.V. Dimitriev**, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © **A.A. Kurochkin**, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © **G.V. Shaburova**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Представлены результаты исследования работы барабанных бетономешалок периодического действия на приготовлении сухих комбикормовых смесей. Получены уравнения регрессии и установлены рациональные параметры смесителя: угол наклона оси вращения от горизонтали – 15 градусов, длительность смешивания 240–300 с. Для получения качественных смесей доля меньшего компонента в смеси должна составлять не менее 15 %.

Ключевые слова: барабанный смеситель, равномерность смеси, смешение комбикормов, степень заполнения емкости.

The results of the study of the drum batch mixers for preparation of dry feed mixtures. The regression equations and rational parameters are set mixer: the angle from the horizontal axis of rotation - 15 degrees, with a duration of mixing 240-300. To obtain high-quality mixtures share of the minor component in the mixture must be at least 15%.

Key words: drum mixer, blend uniformity, mixing feed, degree of filling.

В общем случае эффективность производства продукции животноводства определяется удельными затратами ресурсов на получение продукции, продуктивностью животных и ценами реализации продукции [7, 8].

Два первых фактора имеют тесную связь с уровнем механизации и автоматизации производства. И не случайно выход из глубочайшего спада производства молока и мяса крупного рогатого скота в Российской Федерации предполагается за счет крупных инвестиций в строительство высоко-механизированных и автоматизированных комплексов, позволяющих существенно снизить удельные затраты труда и издержки производства, повысить качество продукции и улучшить социальные условия труда обслуживающего персонала [13, 14].

С другой стороны, достаточно весомые объемы животноводческой продукции в настоящее время и в обозримом будущем будут производиться на относительно малых фермах, для которых актуально применение недорогого и надежного оборудования, отвечающего по качеству выполнения операций современным требованиям технологии [10, 13, 14]. Существующие смесители разнообразны по конструкции, однако при этом имеют достаточно высокую стоимость [1–3, 5, 9, 11].

Целью нашей работы являлось обоснование применения барабанных бетономешалок различной вместимости в качестве смесителей для получения комбикормов.

Задачи исследований:

- оценка влияния основных рабочих параметров машин барабанного типа на качественные показатели получаемых смесей кормов;
- выявление рациональных значений времени смешивания и минимального содержания одного из смешиваемых компонентов смеси.

Для изучения процесса смешивания сухих концентрированных кормов использовались смесители периодического действия барабанного типа (рис. 1), каждый из которых состоит из рабочей емкости 4 с закрепленным на ее наружной поверхности зубчатым венцом. На зубчатый венец вращение передается от зубчатого колеса, установленного на выходе из силового блока 6. В силовом блоке вращение от электродвигателя передается с помощью ременной передачи. Штурвал 5 регулирует угол наклона оси вращения барабана. Узлы смесителя закреплены на опорах 2 и 9 [4, 6, 12].

Работа смесителя осуществляется следующим образом: барабан смесителя с помощью штурвала 5 устанавливается на определенный угол наклона оси вращения относительно горизонтали, после чего в него засыпаются компоненты смеси.

По истечении времени перемешивания барабан наклоняется отверстием вниз для высыпания приготовленной смеси в специальную емкость.

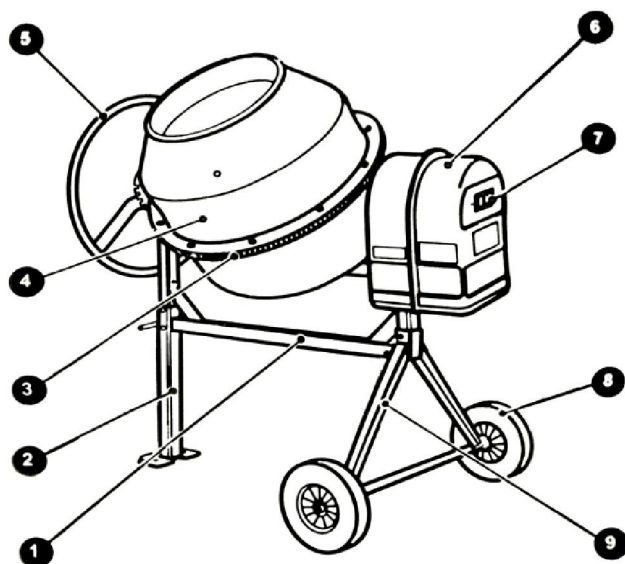


Рисунок 1 – Барабанный смеситель периодического действия:
1 – перекладина; 2 – опора; 3 – зубчатый венец; 4 – барабан; 5 – штурвал;
6 – силовой блок; 7 – кнопки СТОП/ПУСК; 8 – колесо; 9 – опора

Для исследования процесса смешивания применялись три смесителя барабанного типа различной емкости. В процессе проведения опыта изменялись время смешивания и угол наклона оси вращения барабана при постоянной частоте вращения, размерах и количестве лопастей (табл. 1).

Таблица 1 – Технические характеристики исследуемых смесителей

Характеристики смесителя	Кратон 180	Кратон 120	General 63
Объем, л	180	120	63
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	29	28	26
Мощность привода, Вт	650	440	220

В качестве компонентов смеси использовалась дерть пшенично-ячменная с соотношением культур 1:1 и плотностью 550 кг/м³, а контрольным компонентом служили зерна ячменя в количестве 1 % от массы смеси.

Из полученного в эксперименте объема смеси отбирали пробы в количестве 20 шт. и массой 100 г каждая.

Коэффициент загрузки смесителя принимали равным 0,9. При этом максимальная масса определялась при условии, что в установленном под заданным углом α (град.) вращающемся барабане исключалась самопроизвольная выгрузка смешиваемых ингредиентов.

Время смешивания T (с) определялось по длительности перемешивания компонентов после внесения сверху наполнителя порции контрольного компонента.

Степень заполнения емкости Ψ (0,01 %) определялась по формуле

$$\Psi = M/(V \cdot \rho), \quad (1)$$

где M – масса смеси в смесителе, кг; ρ – плотность смеси, кг/м³; V – объем емкости смесителя, м³.

Равномерность смешивания Θ определялась, 0,01 %:

$$\Theta = 1 - v, \quad (2)$$

где v – коэффициент вариации содержания контрольного компонента в анализируемых пробах, 0,01 %.

Результаты исследований представлены в таблице 2.

Согласно ряду литературных источников [1], равномерность смеси может быть описана по аналогии с процессом диффузии выражением

$$\Theta = m \cdot (1 - e^{-k \cdot T}), \quad (3)$$

где m – равномерность смеси, достижимая данным смесителем; k – показатель степени интенсивности перемешивания.

Для смесителя объемом 180 л при угле наклона оси вращения его емкости относительно горизонтали $\alpha = 15$ град. построим график равномерности по (3) (рис. 2) и укажем опытные значения. Как видим, на исследуемом интервале времени смешивания (до 900 с – 15 мин.) надлежащее качество смеси (по зоотехническим требованиям – 90 %, т.е. $\Theta_{300} = 0,9$), производимой исследуемым смесителем, недостижимо.

Таблица 2 – Результаты исследований смесителей

№	V	α ,		ψ ,	T ,	v ,	Θ	$\Theta_{\text{ср}}$	$\Theta_{\text{расч1}}$	$\Theta_{\text{расч2}}$
	м ³	град.	рад.	0,01%	с	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
1	0,18	15	0,262	0,275	120	0,323	0,677	0,724	0,7057	0,7389
2	0,18	15	0,262	0,275	180	0,257	0,743	0,724	0,7057	0,7389
3	0,18	15	0,262	0,275	240	0,245	0,755	0,724	0,7057	0,7389
4	0,18	15	0,262	0,275	300	0,251	0,749	0,724	0,7057	0,7389
5	0,18	15	0,262	0,275	600	0,367	0,633	0,724	0,7057	0,7389
6	0,18	15	0,262	0,275	900	0,210	0,790	0,724	0,7057	0,7389
7	0,18	30	0,523	0,564	300	0,556	0,444	0,413	0,4208	0,3987
8	0,18	30	0,523	0,564	600	0,573	0,427	0,413	0,4208	0,3987
9	0,18	30	0,523	0,564	900	0,633	0,367	0,413	0,4208	0,3987
10	0,18	45	0,785	0,792	300	0,870	0,130	0,13	0,2287	0,1692
11	0,18	45	0,785	0,792	600	0,870	0,130	0,13	0,2287	0,1692
12	0,18	45	0,785	0,792	900	0,870	0,130	0,13	0,2287	0,1692
13	0,063	15	0,262	0,477	300	0,335	0,665	0,654	0,6103	0,6250
14	0,063	15	0,262	0,477	600	0,415	0,585	0,654	0,6103	0,6250
15	0,063	15	0,262	0,477	900	0,287	0,713	0,654	0,6103	0,6250
16	0,063	30	0,523	0,791	300	0,612	0,388	0,313	0,3640	0,3308
17	0,063	30	0,523	0,791	600	0,820	0,180	0,313	0,3640	0,3308
18	0,063	30	0,523	0,791	900	0,628	0,372	0,313	0,3640	0,3308
19	0,063	45	0,785	0,871	300	0,850	0,150	0,157	0,1978	0,1323
20	0,063	45	0,785	0,871	600	0,840	0,160	0,157	0,1978	0,1323
21	0,063	45	0,785	0,871	900	0,840	0,160	0,157	0,1978	0,1323
22	0,12	15	0,262	0,326	300	0,336	0,664	0,686	0,6656	0,6910
23	0,12	15	0,262	0,326	600	0,289	0,711	0,686	0,6656	0,6910
24	0,12	15	0,262	0,326	900	0,317	0,683	0,686	0,6656	0,6910
25	0,12	30	0,523	0,623	300	0,560	0,440	0,4	0,3969	0,3701
26	0,12	30	0,523	0,623	600	0,615	0,385	0,4	0,3969	0,3701
27	0,12	30	0,523	0,623	900	0,625	0,375	0,4	0,3969	0,3701
28	0,12	45	0,785	0,813	300	0,860	0,140	0,147	0,2157	0,1537
29	0,12	45	0,785	0,813	600	0,850	0,150	0,147	0,2157	0,1537
30	0,12	45	0,785	0,813	900	0,850	0,150	0,147	0,2157	0,1537
Коэффициент корреляции R								0,98256	0,978177	0,97818
Ф-тест								0,92239	0,288772	0,90752

Дальнейшее смешивание нецелесообразно ввиду стабилизации значений равномерности смеси начиная с 240–300 с. Учитывая наличие колебаний опытных значений равномерности смеси (Θ_0) в силу случайности процесса смешивания, для определения средней статистической величины качества смеси $\Theta_{\text{ср}}$ будем использовать среднее значение по трем интервалам времени: 300, 600 и 900 с. Для исследуемого смесителя $k = 0,024$. Рациональное время смешивания 240–300 с.

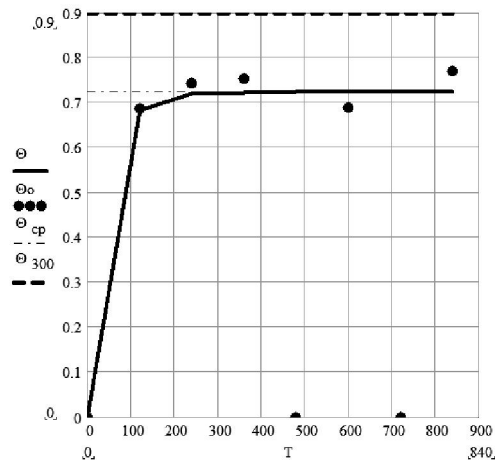


Рисунок 2 – График изменения равномерности смеси Θ (0,01 %) с течением времени T , с

Для описания функциональной зависимости изменения равномерности смеси Θ используем показатели угла наклона емкости α и объема емкости смесителя V . Качество смеси определится (рис. 3):

$$\Theta_{\text{расч1}} = 0,6297614 \cdot [1 - (\sin \alpha)^{0,5}] \cdot (2,048221 + 1,637711 \cdot V - 0,011281/V), \quad (4)$$

Ф-тест 0,2888. Коэффициент корреляции $R = 0,9782$.

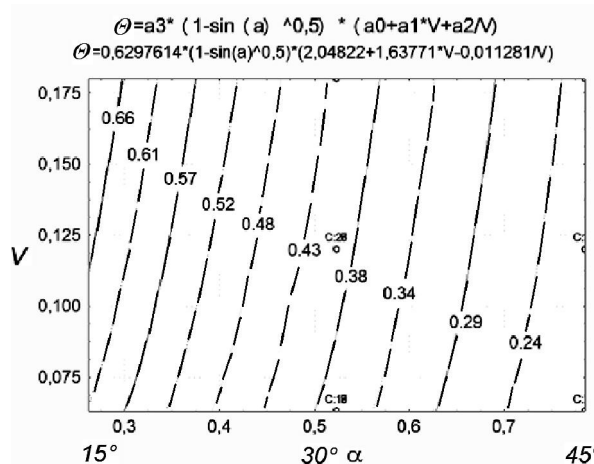


Рисунок 3 – Влияние угла наклона емкости смесителя α (30-45 град; рад.) и объема емкости смесителя V (м³) на равномерность смеси Θ (0,01 %)

Анализ статистических показателей ($R = 0,9782$) говорит о хорошей корреляции опытных и расчетных значений. Однако низкое значение Ф-теста (0,2888) показывает недостаточную адекватность модели.

В связи с этим осуществлено повторное моделирование, связывающее результаты первичного выражения $\Theta_{\text{расч1}}$ с опытными значениями. Полученная модель описывается выражением (рис. 4).

$$\Theta_{\text{расч2}} = -0,10393 + 1,194328 \cdot \Theta_{\text{расч1}}, \quad (5)$$

Ф-тест 0,907522. Коэффициент корреляции $R = 0,978177$.

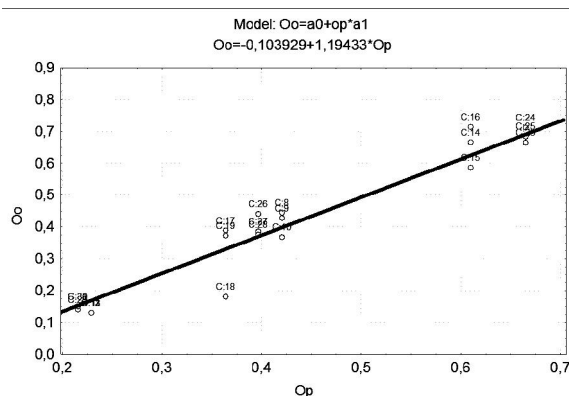


Рисунок 4 – График соответствия опытных (Θ_o) и расчетных (Θ_p) значений равномерности смешивания барабанными смесителями периодического действия

Полученная модель имеет хорошие статистические показатели, что говорит об адекватности полученного выражения.

Тем самым равномерность смеси описывается выражением:

$$\Theta = \{-0,104 + 1,194328 \cdot [0,6297614 \cdot [1 - (\sin \alpha)^{0,5}] \times (2,048221 + 1,637711 \cdot V - 0,011281/V)]\} \cdot (1 - e^{-0,024 \cdot T}). \quad (6)$$

Обработка результатов степени заполнения Ψ (0,01 %) емкости смесителя позволила получить соответствующее выражение:

$$\Psi = -4,85093 + 6,178449 \cdot (\sin \alpha)^{0,080854} - 4,45444 \cdot V + 12,27459 \cdot V^2. \quad (7)$$

Коэффициент корреляции $R = 0,992899$. Ф-тест – 0,969643.

Полученная модель (рис. 5) имеет хорошие статистические показатели, что говорит об адекватности полученного выражения.

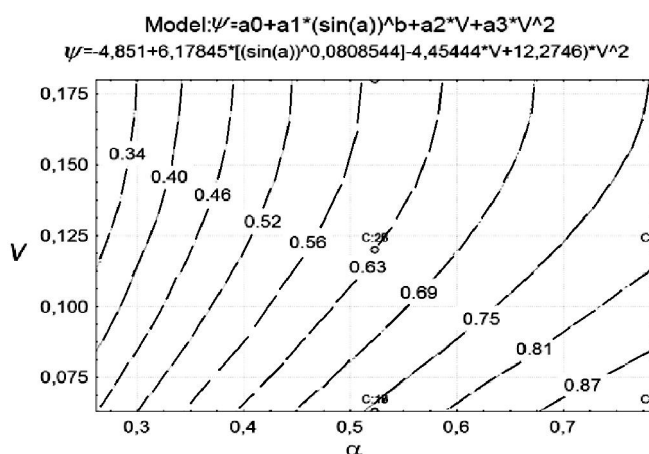


Рисунок 5 – Влияние угла наклона емкости смесителя α (рад.) и объема емкости смесителя V (м^3) на степень заполнения емкости смесителя Ψ (0,01 %)

С уменьшением угла наклона емкости α степень заполнения уменьшается. Смеситель объемом $V=0,18 \text{ м}^3$ имеет наименьшие показатели. Видимо, на степени заполнения (а соответственно, и на условия выгрузки материала из вращающейся емкости) сказывается расстояние между боковыми стенками выгрузного отверстия. Чем уже отверстие (меньше емкость и ее диаметр), тем больше величина максимальной массы в емкости смесителя (а соответственно, и степень заполнения).

Таким образом, смеситель объемом $0,18 \text{ м}^3$ при угле наклона оси вращения емкости от горизонтали 15° имеет лучшие показатели по равномерности смеси, однако при этом наблюдается наименьшая величина степени заполнения. После 240–300 секунд смешивания улучшение качественных показателей смеси прекращается. При доле контрольного компонента в количестве 1 % от массы смеси достичь равномерности смеси в соответствии с зоотехническими требованиями (90 %) не представляется возможным. Минимальная доля меньшего компонента в смеси, обеспечивающая соблюдение зоотребований, – 15 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков И.А. Обоснование параметров вертикального смесителя с комбинированным рабочим органом / И.А. Боровиков, В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, В.Ф. Димитриев // *Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова*. – 2007. – № 3. – С. 59–61.
2. Власов А.А. Устройство для увлажнения сухих сыпучих кормов / А.А. Власов, В.М. Зимняков, В.В. Коновалов // *Овцы, козы и шерстяное дело*. – 1999. – № 9. – С. 36.
3. Гусев С.В. Мобильный раздатчик для сухих и жидких кормов / С.В. Гусев, В.В. Коновалов, С.И. Щербakov // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2003. – № 1. – С. 23–24.
4. Димитриев Н.В. Результаты лабораторных исследований барабанных смесителей периодического действия // *Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию ФГБОУ ВПО “Пензенская ГСХА”*. – Т. 2. – Пенза : РИО ПГСХА, 2011. – С. 104–105.
5. Иноземцева Л.В. Увлажнитель для концентрированных кормов / Л.В. Иноземцева, В.В. Коновалов // *Свиноводство*. – № 5. – 2002. – С. 18.
6. Коновалов В.В. Обоснование угла установки емкости и длительности перемешивания сухих смесей барабанным смесителем / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, С.А. Кишикаткин, А.В. Чупшев // *Нива Поволжья*. – 2013. – № 1(26). – С. 46–50.
7. Коновалов В.В. Пути снижения потерь корма при его приготовлении и раздаче свиньям // *Концепции развития механизации и автоматизации животноводства в XXI веке : Сборник тр. Т. 11. Научно-технические проблемы механизации и автоматизации животноводства*. – Подольск : ГНУ ВНИИМЖ, 2002. – С. 290–294.
8. Коновалов В.В. Снижение потерь кормов при их приготовлении и раздаче свиньям. Технологическое и техническое обеспечение производства продукции животноводства // *Научные труды ВИМ*. – М. : ВИМ, 2002. – Т. 142, Ч. 1. – С. 136–141.

9. Коновалов В.В. Снижение энергоемкости увлажнения концентрированных кормов // *Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : Сборник трудов III Международной научно-технологической конференции. Ч. 3. Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике.* – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2002. – С. 90–95.

10. Ломов В.И. Определение эффективности средств механизации кормления свиней / В.И. Ломов, В.В. Коновалов // *Научно-технический прогресс в животноводстве: Перспективная система машин – основа реализации стратегии машинно-технологического обеспечения животноводства на период до 2010 г. : Сб. тр. ГНУ ВНИИМЖ.* – Подольск, 2004. – Т. 13, Ч. 3. – С. 140–145.

11. Мишин К.М. Экспериментальные исследования устройства для внесения жира в сухие корма / К.М. Мишин, А.А. Курочкин, В.В. Коновалов // *Достижения науки и техники АПК.* – 2002. – № 9. – С. 17–18.

12. Петрова С.С. К вопросу определения качества смеси у барабанного смесителя / С.С. Петрова, С.А. Кирикаткин, Н.В. Димитриев // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.* – 2012. – № 3. – С. 67–72.

13. *Сельскохозяйственная техника и технологии* / Под ред. И.А. Спицына. – М. : КолосС, 2006. – 647 с.

14. *Стратегия машинно-технологического обеспечения производства продукции животноводства на период до 2020 года.* – М. : ФГНУ Росинформагротех, 2009. – 98 с.

УДК 004.054; 631.171

ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

© *Т.В. Истомина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *О.А. Мещеряков, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

INDIVIDUALIZED SOFTWARE TESTING METHODS

© *T.V. Istomina, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *O.A. Mescheryakov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Рассмотрены отдельные вопросы тестирования программного обеспечения. Представлена методика тестирования программного обеспечения, составленная под исследуемую компанию. Кратко описаны основные этапы тестирования.

Ключевые слова: методика, тестирование, индивидуализированное сельское хозяйство, программа.

Discussed some issues of software testing. A method of testing the software, made by the Subject Company. Outlines the main stages of testing.

Key words: methodology, testing, individualized, agriculture, program.

E-mail: oleg_m.58@bk.ru

В последние годы все больше внимания уделяется сельскому и лесному хозяйству нашей страны. Отчасти этому способствует возрастающий интерес к экологии в России. Одним из следствий развития этих отраслей является повышенный интерес к ним со стороны разработчиков программного обеспечения (ПО). В последние годы на рынке программного обеспечения появляется все больше программных продуктов, созданных для этих отраслей, особенно для применения в сельском хозяйстве. Однако не все программы, предлагаемые сегодня на рынке, в полной мере подходят для применения в аграрных компаниях. Все чаще сельскохозяйственные организации прибегают к масштабной проверке приобретаемого ПО. Проверка программ перед приобретением уже стала вполне обыденным делом, все хотят убедиться в целесообразности приобретения ПО перед его покупкой. Самым распространенным способом проверки является получение демо-версии программы. Однако это не всегда является эффективным, так как большинство проверок заканчивается лишь поверхностным осмотром, в большинстве случаев не дающим достаточного количества информации о программном продукте. Все же плюсы и минусы всплывают уже по ходу использования программы.

В последнее время стало появляться все больше компаний, предлагающих услуги тестирования программных продуктов [1]. В зависимости от нужд заказчика применяются различные стандартные методики тестирования, позволяющие определить пригодность программы по небольшому кругу параметров, например по быстродействию работы. Однако для принятия взвешенного решения необходима более полная проверка, которая позволит оценить программный продукт по различным параметрам, делая упор на наиболее значимых критериях для конкретной организации.

Разработка индивидуализированной методики важна еще и с точки зрения возможных будущих приобретений программного обеспечения. Для крупных компаний, использующих в своей работе не одну программу, важно иметь общую стратегию оценки приобретаемого ПО.

На сегодняшний день многие разработчики программного обеспечения имеют свою собственную методику тестирования разрабатываемого ими ПО, однако готовых индивидуализированных методик проверки качества приобретаемого ПО в ходе аналитического обзора не было найдено.

В качестве объекта исследования была выбрана деятельность компании, являющейся одним из крупнейших сельхозпроизводителей в Пензенской области, входящей в крупный агропромышленный холдинг России. Данная компания активно внедряет новое программное обеспечение для автоматизации многих экономических процессов. Компанией планируется дальнейшая автоматизация бизнес-процессов и, соответственно, приобретение нового ПО.

Для формирования целей тестирования нужно определить, что именно нужно от новой программы. Поэтому перед началом тестирования нужно провести предпроектный анализ, который должен включать:

- определение целей приобретения новой программы. Для решения (автоматизации) каких задач она приобретается;

– определение круга специалистов, которым данная программа нужна в первую очередь в их работе. Специалисты, которые будут её использовать для получения и занесения информации. Руководящий состав (гл. специалисты), которому необходимо будет использовать информацию из программы для принятия управленческих решений;

– анализ работы специалистов (загруженности специалистов). Если программа должна автоматизировать часть выполняемых функций, то на сколько изменится время их выполнения. (Часть задач требует быстрого выполнения за ограниченный период времени, например в ходе сельскохозяйственных работ сотрудники готовят ежедневную сводку о проделанной работе и потраченных ресурсах. Сводка готовится рано утром и на её подготовку есть около получаса, если в результате внедрения новой программы время её составления увеличится, то это может привести к нарушению порядка отчетности или к необходимости передвигать начало трудового дня). Если же в процессе внедрения новой системы на сотрудников будут возложены дополнительные обязанности, то нужно понять, насколько это повлияет на их загруженность.

В итоге в ходе предварительного анализа нужно определить: какие функции должны быть обязательно у новой системы, наличие каких функций желательно, круг специалистов, которым данная система нужна в первую очередь (мнение которых нужно учесть и, возможно, вовлечь в проверку системы), эталонный алгоритм выполнения на ней работ.

На основании целей, определенных в ходе предпроектного анализа, может быть составлен список программ, подходящих для их решения. Возможно даже, будет выбрана одна программа, которая по описанию будет наиболее полно подходить предъявляемым требованиям.

Тестирование программного продукта можно разбить на три этапа: функциональное, нагрузочное и тестирование пользовательского интерфейса [4].

1. Функциональное тестирование. Функциональное тестирование можно разделить на несколько этапов:

1.1 Проверка функциональных возможностей. Проверка выполнения основных функций системы. В полной ли мере предлагаемый программный продукт обеспечивает выполнение необходимых функций. В идеале все основные функции должны выполняться, но в случае если часть задач не выполняется или выполняется не в полном объеме, то возможна дальнейшая проверка, если на рынке мало аналогичных программных продуктов.

1.2 Проверка выполнения желательных функций. Коэффициент оценки данного блока довольно большой, так как в случае нехватки каких-либо функций и невозможности выбрать программный продукт, отвечающий всем требованиям, возможно, будет поднят вопрос о доработке данной системы, что может повлечь дополнительные затраты. Результатом проверки на данном этапе должны стать оценка программного продукта, а также список замечаний на доработку.

Тестирование на данном этапе должно выполняться вручную для получения наиболее полной информации о функциональных возможностях системы.

2. Тестирование безопасности [2]. В случае если предполагается использовать систему большим количеством сотрудников, то немаловажным является проверка безопасности системы. Проверка доступа к программе. Важной является возможность разграничения доступа к системе, задания для различных сотрудников различных прав доступа к системе.

В большой компании вопрос с разграничением доступа является достаточно важным, особенно если программа будет использоваться сотрудниками с различными профессиональными навыками. Коэффициент оценки на данном этапе будет зависеть от необходимости разграничения доступа.

3. Нагрузочное тестирование [3]. Целью нагрузочного тестирования является проверка работоспособности программы при больших нагрузках (работа большого количества пользователей, высокая производительность). Нагрузочное тестирование можно разделить на несколько этапов: тестирование при большой пользовательской нагрузке, тестирование на больших объемах данных, профилирование производительности. Важность нагрузочного тестирования увеличивается при анализе программ, которые будут использоваться большим количеством пользователей. Значение нагрузочного тестирования довольно велико. Если программа будет прекрасно подходить по своим функциональным возможностям, но при этом будут проблемы с его быстродействием, что может существенно осложнять работу на ней.

4. Тестирование пользовательского интерфейса. При тестировании пользовательского интерфейса проверяется удобство и понятность интерфейса, в котором будут работать будущие пользователи. Чем понятнее устроен интерфейс, тем быстрее пользователи освоят новую программу.

В некоторых источниках данный вид тестирования относят к функциональному тестированию. Однако он был вынесен отдельно, так как, во-первых, его значение не так велико, как значение функционального и нагрузочного тестирования. Результат данной проверки будет иметь второстепенное значение при принятии решения и не будет значительно влиять на него. Во-вторых, при проверке интерфейса разумно будет привлечь будущих пользователей.

Схематично методика тестирования представлена на рисунке 1.

После проверки программного продукта предлагаемой методикой можно будет, основываясь на результатах тестирования, принять взвешенное решение о приобретении нового ПО. Но, кроме этого, стоит понимать, что даже проведение тестирования по определенной методике потребует определенных временных затрат, и чем обширнее программный продукт, тем больше времени может потребоваться. Поэтому если на первых стадиях тестирования вскрываются минусы ПО, способные существенно повлиять на работу с ним, то разумнее будет перейти к тестированию другого программного продукта.

Применение индивидуализированной методики тестирования может не только упростить для компании в будущем выбор программного продукта, но и должно свести к минимуму возможные ошибки при его выборе.

ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ...

Цена ошибки при выборе программы велика, особенно если речь идет о крупной компании, которая понесет затраты не только на программный продукт, но и на его внедрение. Снижение возможных затрат очень важно для развивающихся компаний, особенно в аграрной сфере.

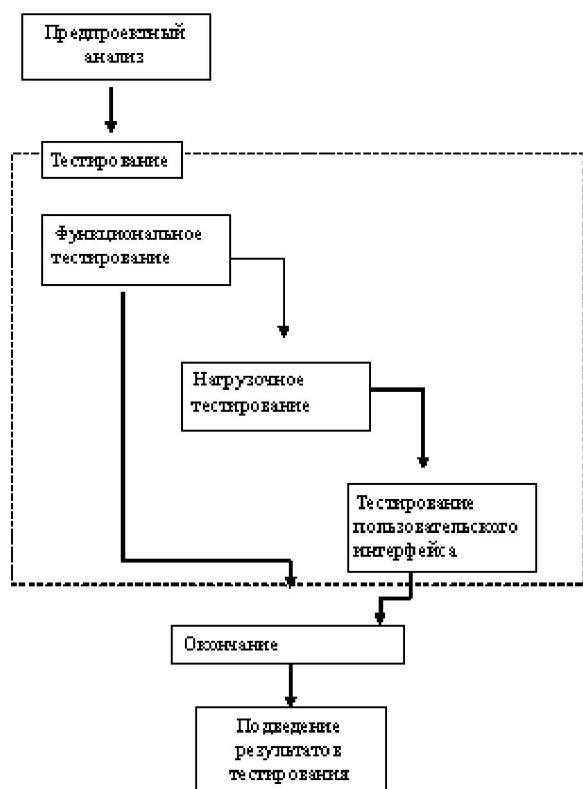


Рисунок 1 – Схема методики тестирования ПО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://qatestlab.com/ru/services/We-Are-Professionals-in> (дата обращения: 20.01.2013)
2. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Тестирование безопасности](http://ru.wikipedia.org/wiki/Тестирование_безопасности) (дата обращения: 21.01.2013)
3. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Нагрузочное тестирование](http://ru.wikipedia.org/wiki/Нагрузочное_тестирование) (дата обращения: 21.01.2013)
4. Истомина Т.В., Мещеряков О.А. Методика тестирования программного обеспечения для сельскохозяйственных организаций // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – № 8/13. – С. 108–114.

УДК 641.51/.54 + 648.5

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНИМОСТИ ПРИБЛИЖЕННОЙ ТЕОРИИ
СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ
ЗАМЕЩЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПИВОВАРЕНИИ**

© *В.В. Коновалов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

© *С.В. Родин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

**FOR THE APPLICABILITY OF THE APPROXIMATE THEORY OF
CARBURETION IN TECHNOLOGICAL PROCESSES FLUID
REPLACEMENT IN SACCHAROMYCES**

© *V.V. Konovalov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *S.V. Rodin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Представлены результаты лабораторных опытов по определению длины и объема образующейся смеси, времени замещения жидкостей при замене воды раствором NaOH в трубопроводе фильтрованного пива ЗАО МПБК "Очаково" в г. Пензе и результаты сравнения полученных данных с существующими теоретическими положениями приближенной теории смесеобразования.

Ключевые слова: замещение жидкостей, приближенная теория смесеобразования, вытеснение жидкостей, длина и объем образующейся смеси, время замещения жидкостей.

The results of laboratory experiments to determine the length and volume of the resulting mixture, the time of replacement fluids by replacing water with a solution of NaOH in the pipeline filtered beer MPBK "Ochakovo" in Penza and the results of the comparison of the data with the existing theoretical positions approximate theory of carburetion.

Key words: fluid replacement, approximate theory of mixing, displacement fluid, length and volume of the resulting mixture, the period of replacement fluids.

В современных технологиях и технологическом оборудовании производства пива существуют процессы по взаимному замещению жидкостей без остановки движения используемых жидкостей. Подобным процессом является последовательное перемещение внутри технологического оборудования ряда жидкостей. Например, осуществляется данный процесс при замещении пива или сусла водой, затем раствором кислот либо щелочей, вновь водой и вновь пивом или суслом, и т.д.

Частным случаем таких процессов можно считать процесс безразборной (СИП) мойки трубопроводов, которая подразумевает под собой последовательную промывку трубопровода водой и моющими растворами. В процессе замещения жидкостей внутри технологического оборудования возникает непосредственное контактирование моющих растворов и воды. Процесс смены фаз в трубопроводе определяют, как правило, по проводимости, измеряемой на возврате к станции СИП. При этом зачастую вводится допущение, что вытеснение жидкостей происходит скачкообразно, т.е. имеет место идеальное замещение. В результате этого допущения смесь моющих растворов с водой, которая неизбежно образуется при вытеснениях, оказывается просто

отнесенной к одной из фаз. Данное обстоятельство ведет либо к чрезмерному разбавлению моющего раствора, либо к его значительным потерям.

Важно понимать, что современные принципы организации производства таковы, что производитель не вправе позволить себе подобной расточительности, а также не должен допускать нарушения экологической безопасности нерациональным использованием сырья, продукции, химическими реагентами.

В связи с этим существует задача изучения механизма смены фаз в трубопроводах (в том числе при СИП мойках) с целью снижения потерь жидкостей (включая моющие растворы) к минимуму.

Проведенный анализ доступной литературы позволяет говорить о том, что вопросы вытеснения жидкостей в трубопроводах рассматривались при разработке технологии последовательной перекачки нефтепродуктов. В результате этого В.С. Яблонским была впервые создана приближенная теория смесеобразования, получившая дальнейшее развитие в работах М.В. Лурье, В.И. Марона, М.В. Нечвала, В.А. Юфина и других ученых [1].

Согласно данной теории, в случае последовательно движущихся жидкостей в трубопроводе распределение концентрации одной жидкости в другой в зоне смеси имеет вид [2]

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + U_0 \frac{\partial \theta}{\partial x} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad \theta = \theta(t, x), \quad (1)$$

где θ – концентрация одной из жидкостей; K – эффективный коэффициент продольного перемешивания, м²/с; U_0 – средняя скорость перекачки, м/с; t – время перекачки, с.

Решение уравнения (1) выглядит следующим образом [2]:

$$\theta(z) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(z), \quad (2)$$

где $\operatorname{erfc}(z)$ – дополнительная функция ошибок, определяемая по специальным таблицам [2]:

$$\operatorname{erfc}(z) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-\alpha^2) d\alpha. \quad (3)$$

Аргумент функции erfc определяется [2] как

$$z = \frac{x}{2\sqrt{Kt}} = \frac{L - U_0 t}{2\sqrt{Kt}}, \quad (4)$$

где L – длина трубопровода до рассматриваемого поперечного сечения, м.

Длина и объем образующейся смеси в момент подхода ее середины к рассматриваемому сечению, соответственно, равны [2]:

$$l_c = 2(z_1 - z_2) \sqrt{\frac{KL}{U_0}} = 2(z_1 - z_2) Pe^{-0.5} L; \quad (5)$$

$$V_c = 2(z_1 - z_2) S \sqrt{\frac{KL}{U_0}} = 2(z_1 - z_2) Pe^{-0.5} V, \quad (6)$$

где S – площадь поперечного сечения трубопровода, м²; $Pe = \frac{U_0 L}{K}$ – число Пекле;

V – объем трубопровода, м³.

Для того чтобы воспользоваться формулами (5) и (6), необходимо определиться с пограничными значениями концентраций и из выражения (2) определить для этих значений аргументы z .

Эффективный коэффициент продольного перемешивания K может определяться по формулам таблицы 1.

Таблица 1 – Эффективный коэффициент продольного перемешивания

Название формулы	Математическая запись	Примечание
Формула Тейлора	$K = 1,785 \sqrt{\lambda} U_0 d$ [4]	для чисел $Re > 30000$
Формула Яблонского – Асатуряна – Хизгилова	$K = \left(\frac{3000}{Re} + \frac{60,7}{Re^{0,455}} \right) U_0 d$ [4]	
Формула Асатуряна	$K = 17,4 \nu_{cp} Re_{cp}^{2/3}$ [1, 3]	Если $\frac{\nu_A}{\nu_B} \leq 5$, то $\nu_{cp} = \frac{\nu_A + 3\nu_B}{4}$, $\nu_A > \nu_B$
Формула Съенитцера	$K = 1,32 \cdot 10^7 \left(\frac{\lambda}{4} \right)^{3,6} \left(\frac{L}{d} \right)^{0,141}$ [4]	
Формула Нечвалы - Яблонского	$K = 28,3 \nu_{cp} (Re_{cp} \sqrt{\lambda})^{0,755}$ [1, 3]	Если $\frac{\nu_A}{\nu_B} \leq 5$, то $\nu_{cp} = \frac{\nu_A + 3\nu_B}{4}$, $\nu_A > \nu_B$

Здесь: ν_A и ν_B – кинематическая вязкость вытесняемой и вытесняющей жидкостей, соответственно, м²/с; $Re = \frac{U_0 d}{\nu}$ – число Рейнольдса; d – диаметр трубопровода, м.

Использование вышеприведенных формул при контроле СИП моек, а также различных вытеснениях, осуществляемых при производстве пива, позволило бы значительно сократить потери продукта, моющих средств и воды. Кроме того, появилась бы возможность учитывать факторы, влияющие на смесеобразование уже на стадии проектирования конкретного трубопровода. Однако возникает вполне обоснованный вопрос о возможности применения данной теории в пивоварении, поскольку мы имеем дело с гораздо меньшими объемами, более сложным ландшафтом трубопроводов и специфическими местными сопротивлениями.

Для ответа на поставленный вопрос нами был проведен опыт по вытеснению воды водным раствором щелочи NaOH из трубопровода переменного ландшафта при различных значениях объемного расхода. Контроль смесеобразования осуществлялся измерением мгновенных значений проводимости смеси, на основании утверждения, что зависимость электропроводности слабых водных растворов NaOH от концентрации имеет линейный характер [2]. Измерения проводились прибором LMIT 08 с точностью до десятых и периодичностью 0,5 сек. Характеристика контактирующих жидкостей и схема опыта представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Характеристика контактирующих жидкостей

Жидкость	Вязкость, ν_A , м ² /с	Температура, t , °С	Проводимость, χ , мS/см	Концентрация, θ , %
Вода	$1,3074 \cdot 10^{-6}$	9,4	0,9	-
Раствор NaOH	$1,0164 \cdot 10^{-6}$	82	103,9	2,2

Таблица 3 – Схема проведения опыта

№ опыта	Диаметр трубопровода, d , м	Длина трубопровода, L , м	Объемный расход, Q , м ³ /ч
1	0,08	243,6	15
2	0,08		35
3	0,08		55

На основании полученных результатов для каждого случая (рис. 1) строились зависимости содержания исходного раствора щелочи NaOH ($\theta = 2,2$ %) в воде в пределах изменения доли (концентрации) исходного раствора щелочи в получаемой смеси от 1 до 99 %, а также по полученным опытным данным рассчитывались длина и объем образуемой смеси.

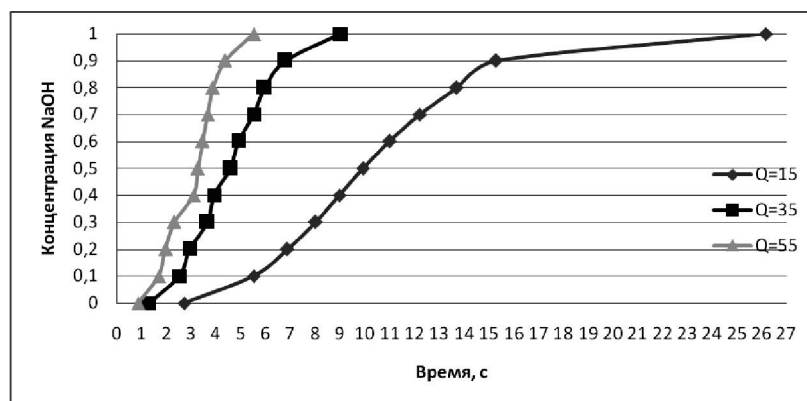


Рисунок 1 – Распределение концентрации водного раствора щелочи NaOH в воде при различных значениях объемного расхода

Параллельно с опытом осуществлялся теоретический расчет длины и объема образующейся смеси по формулам (5) и (6) для тех же граничных значений концентрации. Полученные данные сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Длина и объем образующейся смеси

Расход, $\text{м}^3/\text{ч}$	Длина смеси, l_c , м						Объем смеси, V_c , л					
	По Тейлору	По Яблонскому	По Асагурану	По Сьенгиптеру	По Нечвалю	Опытные данные	По Тейлору	По Яблонскому	По Асагурану	По Сьенгиптеру	По Нечвалю	Опытные данные
5	4,6	9,9	9,3	3,5	9,3	9,5	3,3	9,7	6,7	7,9	6,7	7,8
5	4	6	6,8	,8	6,8	5	0,1	0,5	4,2	9,2	4,2	5,2
5	3,7	4,3	5,6	,3	5,6	4,2	8,6	2,1	8,4	1,9	8,4	1,3

Для наглядного сравнения теоретических и опытных данных рассчитывалась функция вида (2) эффективного коэффициента продольного перемешивания K для каждого случая вытеснения и с учетом различных способов вычисления. Совмещенные теоретические и опытные зависимости представлены на следующих графиках (рис. 2–4).

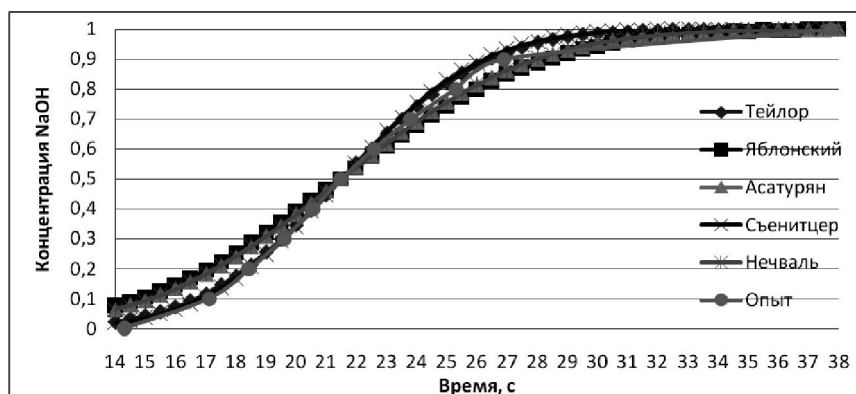


Рисунок 2 – Распределение концентрации водного раствора щелочи NaOH при $Q = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$

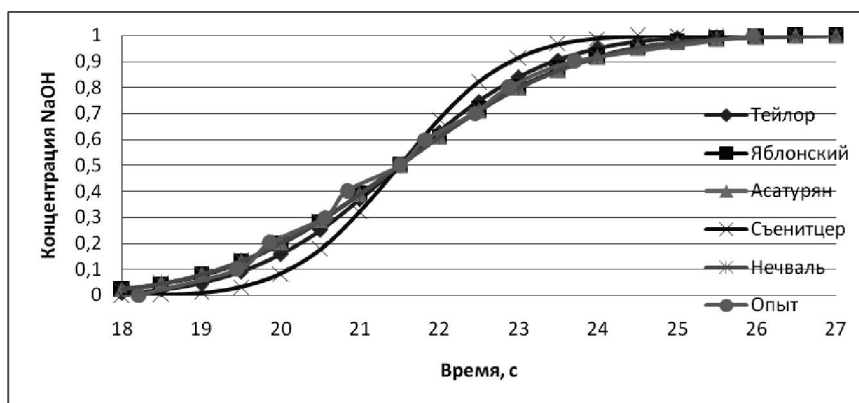


Рисунок 3 – Распределение концентрации водного раствора щелочи NaOH при $Q = 35 \text{ м}^3/\text{ч}$

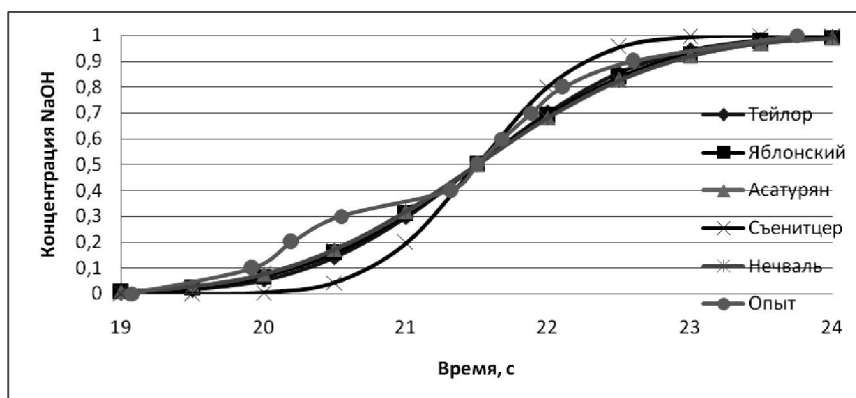


Рисунок 4 – Распределение концентрации водного раствора щелочи NaOH при $Q = 55 \text{ м}^3/\text{ч}$

Исходя из полученных данных, видим, что характер распределения концентрации водного раствора щелочи NaOH в воде для нашего опыта соответствует теоретическим кривым. При этом граница смеси уменьшается с увеличением скорости перекачки жидкостей, что полностью соответствует теории В.С. Яблонского. Полученные предварительные результаты для рассматриваемого трубопровода показывают (табл. 5–7), что вычисление эффективного коэффициента продольного перемешивания предпочтительнее по формулам Яблонского – Асатуряна – Хизгилова и Нечваля – Яблонского.

Таблица 5 – Влияние времени замещения на концентрацию раствора в сечении трубопровода при расходе жидкости 15 м³/ч

Доля раствора	Опыт	Тейлор	Яблонский	Асатурян	Сьениггер	Нечваль
0,01	14,3	13	9,5	10,5	13,5	10
0,10	17,1	13	15	15,5	17	15,5
0,20	18,4	18,5	17	17,5	18,5	17,5
0,30	19,6	19,5	19	19	19,5	19
0,40	20,6	20	20,5	20,5	20,5	20,2
0,50	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
0,60	22,6	23	23	23	22,5	23
0,70	23,8	23,5	24,5	24	23,5	24
0,80	25,3	25	26	26	24,5	26
0,90	26,9	26,5	28,5	28	26,5	28
0,99	37,8	34,5	34	33,5	30,5	33
Коефф. корреляции	1	0,9722	0,9550	0,9600	0,9634	0,9518
Ф-тест	1	0,9495	0,8177	0,9778	0,3781	0,9759
Среднее значение	22,527	21,636	21,682	21,727	21,636	21,609

Однако говорить о том, что эти формулы достаточно точны для расчета смесеобразования, преждевременно, так как на результат опыта могут оказывать влияние местные сопротивления и переменный ландшафт трубопровода.

Анализируя соответствие теоретических и опытных данных, можно сделать вывод о том, что данная теория подходит для предварительных расчетов и позволяет достаточно точно определить границы смеси при замещении жидкостей в трубопроводах.

Таким образом, не имея возможности фактически контролировать процесс смесеобразования, мы можем рассчитать длину и объем смеси и определить необходимость ее дополнительного контроля. Однако говорить о применимости конкретных выражений для осуществления расчета считаем преждевременно ввиду недостаточного объема опытных данных.

Таблица 6 – Влияние времени замещения на концентрацию раствора в сечении трубопровода при расходе жидкости 35 м³/ч

Доля раствора	Опыт	Тейлор	Яблонский	Асатурян	Съенигцер	Нечваль
0,01	1,0	0,9	0,3	0,2	1,8	0,2
0,10	2,3	2,4	2,1	2	2,9	2
0,20	2,7	3	2,8	2,8	3,4	2,8
0,30	3,4	3,5	3,4	3,4	3,7	3,4
0,40	3,6	3,9	3,9	3,8	4	3,8
0,50	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
0,60	4,6	4,7	4,7	4,8	4,6	4,8
0,70	5,2	5,1	5,2	5,2	4,9	5,2
0,80	5,7	5,6	5,8	5,8	5,2	5,8
0,90	6,5	6,2	6,6	6,6	5,7	6,6
0,99	8,8	7,9	8,5	8,6	6,9	8,6
Коэфф. корреляции	1	0,9941	0,9935	0,9934	0,9932	0,9934
Ф-тест	1	0,7134	0,9087	0,8543	0,1843	0,8543
Среднее значение	4,367	4,318	4,327	4,318	4,309	4,318

Таблица 7 – Влияние времени замещения на концентрацию раствора в сечении трубопровода при расходе жидкости 55 м³/ч

Доля раствора	Опыт	Тейлор	Яблонский	Асатурян	Съенигцер	Нечваль
0,01	1,9	2,2	2	1,9	2,9	1,9
0,10	2,7	3,1	3	3	3,5	2,9
0,20	3,0	3,5	3,5	3,4	3,8	3,4
0,30	3,3	3,8	3,8	3,7	4	3,7
0,40	4,1	4,1	4	4	4,2	4
0,50	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
0,60	4,5	4,5	4,6	4,6	4,4	4,6
0,70	4,7	4,8	4,8	4,9	4,6	4,9
0,80	4,9	5,1	5,2	5,2	4,8	5,2
0,90	5,4	5,5	5,6	5,7	5,1	5,7
0,99	6,5	6,5	6,7	6,8	5,7	6,8
Коэфф. корреляции	1	0,9934	0,9904	0,9925	0,9920	0,9929
Ф-тест	1	0,7318	0,9337	0,9515	0,1017	0,9333
Среднее значение	4,125	4,309	4,318	4,318	4,300	4,309

Следует также отметить, что в пивоварении, в отличие от нефтепереработки, контроль смесеобразования в трубопроводах уходит на второй план, поскольку объемы трубопроводов невелики. В данном случае гораздо важнее контролировать параметры смеси, образующейся при замещении жидкостей на фильтрах, теплообменниках, пастеризаторах, моноблоках линий розлива и другом специализированном оборудовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршак А.А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов : Учебник для вузов / А.А. Коршак, А.М. Нечваль; Под ред. А.А. Коршака. – СПб. : Недра, 2008. – 488 с.
2. Лурье М.В. Оптимизация последовательной перекачки нефтепродуктов / М.В. Лурье, В.И. Марон, Л.А. Мацкин [и др.]. – М. : Недра, 1979. – 256 с.
3. Алиев Р.А. Трубопроводный транспорт нефти и газа : Учеб. для вузов / Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, А.Г. Немудров [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1988. – 368 с. : ил.
4. Ишмухаметов И.Т. Трубопроводный транспорт нефтепродуктов / И.Т. Ишмухаметов, С.Л. Исаев, М.В. Лурье, С.П. Макаров. – М. : Нефть и газ, 1999. – 300 с.

УДК 612.014.421.8

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

- © М.А. Сидорова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © С.Ю. Костенков, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © Д.С. Осипов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

FEATURES OF MATHEMATICAL MODELS OF ELECTROPHYSIOLOGICAL SIGNALS

- © M.A. Sidorova, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © S.Y. Kostenkov, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © D.S. Osipov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассмотрена актуальность разработки инструмента определения работоспособности электрофизиологических приборов, аппаратов и комплексов. Авторами предложена методика формирования моделей тестовых последовательностей биоэлектрических сигналов для определения работоспособности медицинских электрофизиологических приборов. Разработана база математических моделей, имитирующих реальные электрофизиологические сигналы. Представлен программный имитатор для воспроизведения тестовых последовательностей.

Ключевые слова: Электрофизиологический сигнал, работоспособность, тестовая последовательность, имитатор биоэлектрических сигналов.

In this article the importance of developing a tool for identifying operability of electrophysiological devices, devices and systems. The authors proposed a method of forming patterns of test sequences bioelectric signals to see if the medical electrophysiological devices. Developed a framework of mathematical models that simulate real electrophysiological signals. Presented software simulator to reproduce the test sequences.

Key words: The electrophysiological signal, the test sequence, the simulator bioelectric signals.

В медицинской диагностике широкое распространение получили методы диагностики на основе анализа биопотенциалов в биологически активных точках. Электрические сигналы, возникающие в результате мозговой, сердечной, мышечной деятельности или при измерении сопротивления биологических тканей электрическому току, называют электрофизиологическими сигналами (ЭФС).

ЭФС несут нам важную информацию о функционировании как всего организма человека или животного, так и его отдельных органов: о работе сердца (электрокардиограмма – ЭКГ), о состоянии сосудов (реограмма – РЭГ), эмоционально-вегетативных реакциях (кожно-гальваническая реакция – КГР), дыхании, мышечных движениях (окулограмма, миограмма – ЭМГ) и др. Наиболее сложными для анализа, но, в то же время, и наиболее информативными считаются сигналы сердца (ЭКГ), центральной нервной системы и головного мозга (электроэнцефалограмма – ЭЭГ) [1].

С помощью электрокардиографического обследования можно обнаружить изменения, характерные для различных нарушений ритма, заболеваний сердца и их осложнений, оценить состояние пациентов после аортокоронарного шунтирования, коронароангиопластики, а также перенесших ранее инфаркт миокарда.

Кривые ЭЭГ объективно отражают состояние нервных структур головного мозга. При заболеваниях появляются нетипичные, патологические ритмы или волны. Они могут регистрироваться во многих областях, но носят также ограниченный, очаговый характер.

Для целей регистрации электрофизиологических сигналов используются электрокардиографы, электроэнцефалографы, электронейромиографы и другие средства визуализации [2]. Оценить работоспособность таких приборов несложно. Намного сложнее оценивать работу современных средств медицинской диагностики. Большинство из них предназначены для работы в комплексе с электронной вычислительной машиной, что позволяет проводить предварительную обработку и анализ регистрируемых ЭФС.

Согласно ГОСТ 27.002-89 под работоспособным состоянием прибора или системы понимается такое состояние объекта, при котором значения параметров и (или) показателей качества соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической документации [3].

Диагностические приборы, такие как электрокардиоанализаторы и реоанализаторы, оценивают ЭФС с помощью измерения их параметров (амплитуды, формы, длительности) и сравнения измеренных параметров с допустимыми значениями [4]. Для проверки правильности работы таких приборов им на вход необходимо подать сигнал с заранее известными параметрами. Сигналы, заменяющие реальные, – математические модели, построенные по стандартным аналитическим выражениям [5]. Такие модели используются при проверке и тестировании электрокардиомониторов с помощью поверителя ПКП [6].

Для проведения процессов поверки, испытаний и оценки работоспособности измерительных приборов, аппаратов и систем применяются спе-

специализированные источники сигналов. С целью проверки и оценки работоспособности приборов, аппаратов и систем медицинского назначения наиболее применимы: функциональные генераторы [7–10] (например, ГФ-05, ГФ-07); генераторы сигналов специальной формы (например, Г6-39, Г6-40) [6]; специализированные имитаторы, использующие разнообразные модели тестовых последовательностей (МТП) ЭФС. Генераторы сигналов позволяют сформировать модель ритма ЭФС либо его формы. Для формирования сигнала, моделирующего и форму и ритм биосигнала, используются реальные ЭФС, записанные на ПЗУ. Однако этого недостаточно для моделирования всей вариативности ЭФС. Чтобы охватить как можно больше возможных вариантов изменчивости ЭФС, авторы предлагают формировать МТП, основанные на стандартизованных математических функциях.

Для того чтобы сформировать наиболее эффективные МТП ЭФС, необходимо решить ряд основных задач:

- 1) МТП ЭФС следует сформировать таким образом, чтобы они адекватно отражали описываемый реальный сигнал;
- 2) МТП ЭФС должны быть представлены так, чтобы их последующая реализация не вызывала затруднений;
- 3) для этапа экспресс-тестирования приборов целесообразно формировать модели последовательности временных интервалов и формы импульсов отдельно;
- 4) на этапе подробного тестирования должны применяться МТП для полного анализа периодичности временных интервалов и формы импульсов;
- 5) все используемые модели должны быть сформированы с учетом того, чтобы с их помощью можно было выявлять наибольшее количество отказов и ошибок (ложных пропусков и ложных срабатываний) в работе медицинских приборов и аппаратов на всех этапах тестирования.

В процессе моделирования нужно быть полностью уверенным в том, что модели в точности соответствуют оригиналу. Поэтому авторы статьи предлагают разработанную ими методику формирования тестовых последовательностей ЭФС (рис. 1).

Примеры МТП и их сравнение с формами реальных сигналов представлены на рисунке 2.

Форма сложных биологических сигналов может меняться в соответствии с характером того или иного заболевания, а также в зависимости от индивидуальных физиологических особенностей пациента.

Для удобства представления и последующего сравнительного анализа со стандартными функциями формы реальных сложных электрофизиологических сигналов нормируются по амплитуде и длительности, при необходимости масштабируются; вычисляется минимальное расстояние $D_{\min}$ между математической моделью и реальным биологическим сигналом по формулам (1) и (2):



Рисунок 1 – Схема методики формирования МТП ЭФС

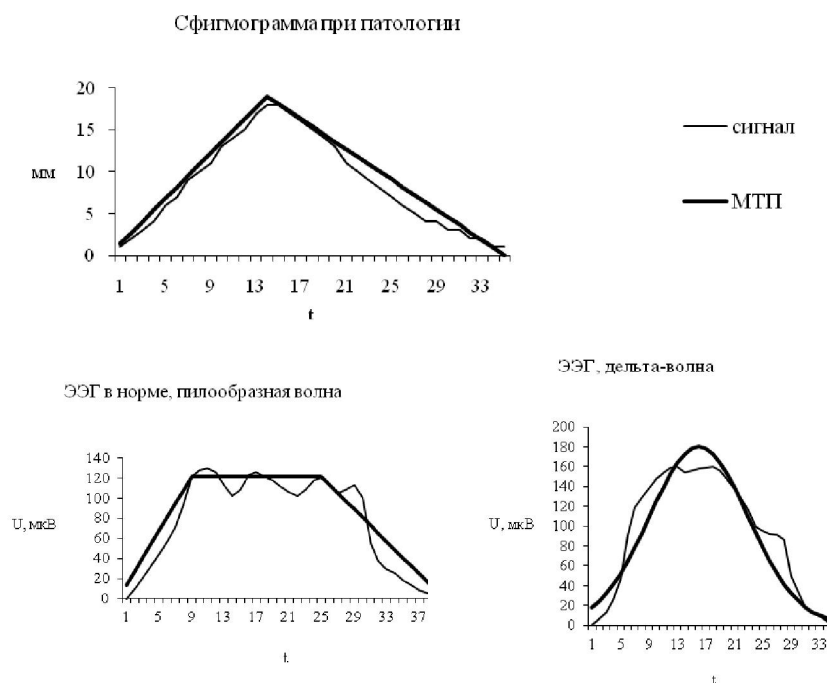


Рисунок 2 – Сравнение МТП с формами реальных сигналов

$$D_{\min} = \min(D_j); \quad (1)$$

$$D_j = \sum_i^j B_i |x_i - x_i^j|, \quad (2)$$

где $j = 1, 2, 3, \dots, N$; B_i – постоянный коэффициент нормировки; x_i – параметры реального сигнала; $x_i^{(j)}$ – параметры математической модели.

Диапазон амплитуд реальных сигналов при этом варьируется от 50 до 100 мс. Максимальный частотный спектр формы сигнала не превышает 1000 Гц [11].

Для сравнения двух выборок, одной из которых является биосигнал, а другой – аналитическая модель биосигнала, нужно проверить соответствие выборок нормальному закону распределения и провести статистическую обработку данных.

Пример комплексной статистической обработки ЭФС и их моделей, проведенной по непараметрическому двухвыборочному критерию Уилкоксона, приведен в таблице 1. По данному критерию нулевая гипотеза о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности принимается, если критериальное значение попадает в интервал между нижним и верхним критическими значениями.

Таким образом, если нулевая гипотеза принята на заданном уровне значимости, это означает, что представленная форма ЭФС может быть описана стандартной математической моделью (например, колоколообразной, треугольной, трапецеидальной и др.).

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что чем ближе к центру доверительного интервала находится критериальное значение, тем более вероятно принятие нулевой гипотезы. Например, критериальное значение для реоволны и модели, построенной по формуле Шарлье, находится ближе к центру области принятия гипотезы, поэтому формула Шарлье точнее описывает реоволну в норме, чем модель трапеции. Следовательно, эта модель тестовой последовательности может быть занесена в базу математических моделей реоволны в норме.

Таким образом, формируется база математических моделей, имитирующих реальные электрофизиологические сигналы. В отличие от существующих баз данных, таких, как база данных по аритмиям Массачусетского технологического института (MIT-BIH) или база данных Американской ассоциации сердца для оценки аритмии желудочков (АНА), в которых представлены записи реальных сигналов [12], предлагаемая авторами статьи база данных базируется на тестовых последовательностях, основанных на стандартизованных математических функциях. Для наполнения такой базы сигналами “нормы” и “патологии” используется имитационное моделирование биоэлектрических сигналов и их параметров. Это позволяет охватить всю вариабельность ритма и формы ЭФС и формировать тестовые последовательности в различных сочетаниях формы и длительности межимпуль-

сных интервалов, что в реальных условиях получить затруднительно. Однако такие тестовые последовательности помогают выявлять “узкие места” в работе приборов.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки моделей импульсов

№	Тип импульса	Статистические показатели при $p = 0,95$; $b = 0,05$; $Q = 6/2 = 0,025$					
		Сумма рангов выборки, R	Критериальное значение, $W_{набл}$	Нижнее критическое значение, $W_{ст}$	Верхнее критическое значение, $W_{ст}$	Объем выборки, n	Среднее значение, $x_{ср}$
1	Волна электроэнцефалограммы при патологии	1052,5	1052,5	976,7	1234,3	33	75 мкВ
	Модель трапецеидальной формы	1158,5				33	75 мкВ
2	Реоволна в норме	1486,5	1486,5	1343,8	1737,2	39	0,05 Ом
	Модель по формуле Шарлье	1594,5				39	0,05 Ом
3	Реоволна в норме	1459,5	1459,5	1343,8	1737,2	39	0,05 Ом
	Модель трапецеидальной формы	1621,5				39	0,05 Ом
4	Волна реоэнцефалограммы при патологии	1354,5	1273,5	1030,6	1378,4	39	0,06 Ом
	Модель параболической формы	1273,5				33	0,06 Ом
5	Волна сфигмограммы при патологии	1211	1204	956,7	1283,3	37	20 мм
	Модель треугольной формы	1204				32	20 мм

Таким образом, формируется база математических моделей, имитирующих реальные электрофизиологические сигналы. В отличие от существующих баз данных, таких, как база данных по аритмиям Массачусетского технологического института (MIT-BIH) или база данных Американской ассоциации сердца для оценки аритмии желудочков (AHA), в которых представлены записи реальных сигналов [12], предлагаемая авторами статьи база данных базируется на тестовых последовательностях, основанных на стандартизованных математических функциях. Для наполнения такой базы сигналами “нормы” и “патологии” используется имитационное моделирование биоэлектрических сигналов и их параметров. Это позволяет охватить всю вариабельность ритма и формы ЭФС и формировать тестовые последовательности в различных сочетаниях формы и длительности межимпульсных интервалов, что в реальных условиях получить затруднительно. Од-

нако такие тестовые последовательности помогают выявлять “узкие места” в работе приборов.

База моделей тестовых последовательностей, учитывающих особенности “нормы” и “патологии” сигналов, поможет проводить качественную оценку работоспособности медицинских приборов, аппаратов и систем, производящих автоматический анализ медико-биологических сигналов. Предлагаемая авторами статьи методика формирования тестовых последовательностей ЭФС стала основой процесса моделирования подобных сигналов, заложенного в программный имитатор биоэлектрических сигналов, экранная форма которого представлена на рисунке 3.

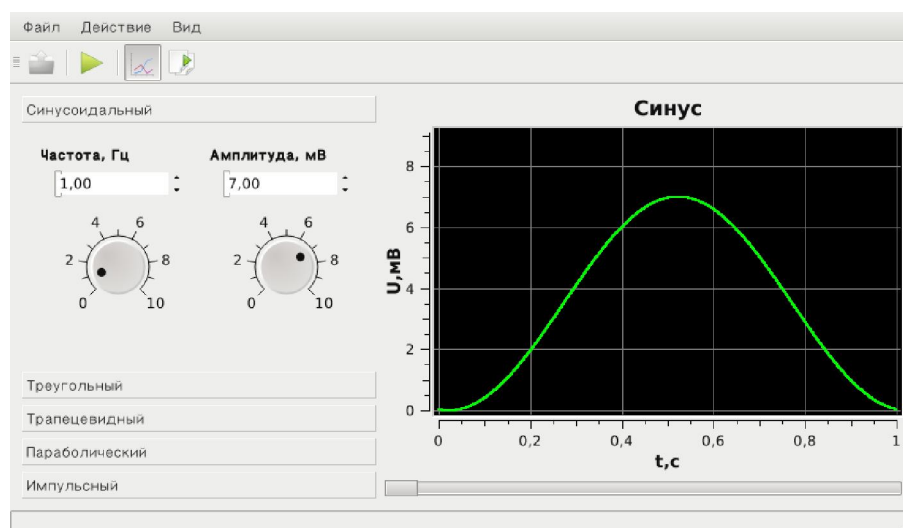


Рисунок 3 – Внешний вид программного имитатора БЭС

Имитатор использует для формирования тестовых последовательностей стандартные гостированные формы моделей биосигналов, что позволяет применять его при оценке работоспособности приборов регистрации и анализа электрофизиологических сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Съём и обработка биоэлектрических сигналов : Учеб. пособие / К.В. Зайченко, О.О. Жаринов, А.Н. Кулин [и др.]. – СПб., 2001. – 140 с.
2. Сидорова М.А. Исторические аспекты развития компьютерных систем в электрофизиологии / М.А. Сидорова, С.Ю. Костенков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11. – С. 106–110.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 2002.
4. Истомина Т.В. Методы и средства медицинских измерений : Монография. – Пенза : Изд-во ПГУ, 1998.
5. ГОСТ 16465-70. Сигналы радиотехнические измерительные. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 2005.
6. Сидорова М.А. Средства измерения параметров электрокардиосигнала : Дис....канд. техн. наук. – Пенза : ПГУ, 1999.

7. ГОСТ Р 50.2.009-2001. Электрокардиографы, электрокардиоскопы и электрокардиоанализаторы. Методика поверки. – М. : Изд-во стандартов, 2001.
8. ГОСТ МИ 2523-99. Электроэнцефалографы, электроэнцефалоскопы и электроэнцефалоанализаторы. Методика поверки. – М. : Изд-во стандартов, 1999.
9. ГОСТ МИ 2527-99. Электромиографические приборы. Методика поверки. – М. : Изд-во стандартов, 1999.
10. ГОСТ МИ 2524-99. Реографы, реоплетизмографы, реопреобразователи и реоанализаторы. Методика поверки. – М. : Изд-во стандартов, 1999.
11. Илясов Л.В. Биомедицинская измерительная техника : Учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 2007. – 342 с.
12. ГОСТ Р 50267.47-2004 (МЭК 60601-2-47-2001). Изделия медицинские электрические. Часть 2. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к амбулаторным электрокардиографическим системам. – М. : Изд-во стандартов, 2004.

УДК 616.151.5

**МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА
СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОВ
ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ПАЦИЕНТОВ**

© **М.А. Сидорова**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **П.К. Строков**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**THE PHYSICIAN-BIOLOGICAL ASPECTS OF THE ANALYSIS OF THE
CURRENT STATE OF METHODS THE EXPRESS-DIAGNOSTICS OF
PATIENTS**

© **M.A. Sidorova**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **P.K. Strokov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена методам медицинской экспресс-диагностики пациентов, системам и приборам, с помощью которых можно производить быструю диагностику пациента для своевременного выявления на начальной стадии патологий или их предотвращения.

Ключевые слова: экспресс-диагностика, УЗИ, ЭКГ-мониторинг, экспресс-анализ, информативность, компьютерные технологии.

Article is devoted to methods medical the express – to diagnostics of patients, devices by means of which it is possible to make the most exact and fast analyses of the person, for timely identification at an initial stage of pathologies and their prevention.

Key words: the express – diagnostics, ultrasonography, an electrocardiogram – monitoring, the express – the analysis, informational content, computer technologies.

E-mail: sidorova_mailbox@mail.ru, strokoff.pawel@yandex.ru

Экспресс-диагностика функционального состояния пациента – это компьютерное секторальное исследование, позволяющее оценить состоя-

ние пациента в момент обращения. Цель такой диагностики – обеспечение современным медико-биологическим исследованием, доступными и качественными методами диагностики, сокращение времени и анализа.

К преимуществам экспресс-диагностики относятся:

- простота проведения обследования;
- небольшие затраты времени (всего 20 минут);
- неинвазивность (без нарушения целостности кожи и тканей);
- высокая чувствительность аппарата исследования;
- информативность, наглядность и высокая достоверность результатов обследования;
- возможность выбрать наиболее эффективный метод лечения и осуществить контроль над результатами терапии.

Указанное направление медицины особенно актуально именно сейчас, когда темп жизни настолько высок, что выкроить время на полное обследование организма очень проблематично. И действительно, раньше аналитические процедуры и прохождение обследований требовали пребывания в стационаре, стоили довольно дорого и мало кто мог себе это позволить. Именно поэтому экспресс-диагностика стала так популярна [1].

Авторы статьи предлагают методику экспресс-диагностики состояния пациентов, позволяющую диагностировать заболевания на самой ранней и перспективной для лечения стадии, которая экономит время и, что немаловажно, финансы. Является наиболее подходящей в случае, когда человек хочет комплексно провериться, так как она конкретизирует направление диагностического поиска, лечебных и профилактических мероприятий. Все анализируемые показатели, нормы их содержания и отклонения представляются в виде единого графика с подробной расшифровкой. При наличии отклонений от нормы необходимо проведение углубленного обследования, результатом которого станет индивидуально подобранная программа лечения, динамического наблюдения и профилактики выявленных заболеваний и состояний [2].

Для системы экспресс-диагностики существуют различные виды анализов:

- биохимический анализ крови;
- общий (клинический) анализ крови;
- анализ крови на группу и резус-фактор;
- общий анализ мочи;
- комплексное обследование беременности и др.

Экспресс-диагностика означает быстрое выявление заболеваний. Именно данное направление медицинской деятельности стало актуальным в современное время, когда темп жизни настолько высок, что выкроить возможность для обследования организма в стационарных условиях стало очень сложно. Именно поэтому экспресс-диагностика заняла своё заслуженно высокое место на современном медицинском рынке. Инструментами диагностики являются медицинские экспресс-тесты.

Первые тесты выпускались в виде готовых к применению комплектов с набором реагентов, для проведения исследований требовалось дополнительное лабораторное оборудование, квалифицированный персонал с определёнными навыками работы и особые условия хранения и транспортировки, по существу они были скорее “простыми”, чем экспресс-тестами. Используемые в настоящее время экспресс-методы просты и надёжны в использовании, при этом не требуется никакого специального оборудования, квалифицированного персонала, особых условий к хранению и транспортировке.

Экспресс-тесты фактически являются типовой мини-лабораторией с типовой последовательностью операций и сохраняют свои свойства при хранении и транспортировании в различных условиях окружающей среды. При постановке экспресс-теста обычно используется цельная кровь человека, плазма или сыворотка, но первое наиболее предпочтительно. Постановка экспресс-теста не должна требовать наличия специального или дополнительного оборудования, высокой квалификации персонала, а общее время, затраченное на проведение анализа, не должно превышать 30 минут.

Экспресс-тесты созданы для экстренных и экстремальных ситуаций и для использования в кабинетах анонимного обследования. Экспресс-тесты используются различными гражданскими медицинскими службами не только в urgentных ситуациях и в случаях чрезвычайных ситуаций на всей территории страны, но и на территориях с высоким риском инфицированности.

Существуют также программы экспресс-диагностики СНЕСК–УР (ЧЕК АП) – комплексное обследование состояния организма всего за несколько часов. СНЕСК–УР – это всестороннее обследование организма, в течение которого пациенту предлагается пройти уникальный комплекс лабораторной и функциональной диагностики, инструментальные исследования и консультации специалистов службы СНЕСК–УР. Врачи подробно анализируют сочетание факторов риска, генетической предрасположенности, основных маркеров заболеваний, функции органов и систем организма [3].

Таким образом, СНЕСК–УР позволяет не просто вовремя вылечить то или иное заболевание, но и предупредить его возникновение. Это возможность ранней диагностики заболеваний, часто на той стадии, когда они еще не беспокоят пациента. Именно такой подход позволяет не допустить развитие недуга. В результате диагностики пациент получает карту здоровья – комплексное заключение о состоянии организма. Это подробный анализ возможных причин развития болезни, рекомендации по лечению и профилактике обнаруженных проблем, здоровому образу жизни. В случае если в ходе лабораторных исследований будут получены результаты, говорящие о наличии той или иной проблемы, то программу обследования оперативно скорректируют, уделив больше внимания «проблемному» участку.

С точки зрения компьютерных технологий система экспресс-диагностики представляет собой компьютерную автоматизированную систему, целью которой является помощь практикующим специалистам, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности.

Для решения поставленных задач использовались методы системного анализа и теории биотехнических систем, принципы создания и функционирования программных средств вычислительной техники, методы алгоритмизации и объектно-ориентированного программирования для проведения исследований, методы оценки адекватности полученных результатов, а также интерпретации полученных экспериментальных данных.

Существует множество методов экспресс-диагностики пациентов с применением компьютерных технологий, таких как скрининговая диагностика, УЗИ, ЭКГ и др.

Скрининг–диагностика – стратегия в организации здравоохранения, направленная на выявление заболеваний у клинически бессимптомных лиц в популяции. Цель скрининга – по возможности раннее выявление заболеваний, что позволяет обеспечить раннее начало лечения в расчёте на облегчение состояния пациентов и снижение смертности [4].

В настоящее время известны примеры скрининговых методов. Для выявления случаев туберкулёза широко распространена кожная туберкулиновая проба (реакция Манту). Для диагностики депрессии в качестве скринингового теста используется шкала депрессии Бека. С целью исключения патологии плода широко используется альфа-фетопротеиновый тест. Рентгенография зубов рутинно применяется стоматологами для исключения случаев кариеса. Различные скрининговые исследования применяются для возможно ранней диагностики злокачественных новообразований.

Медицинское оборудование для скрининга зачастую отличается от оборудования, применяемого в клинической диагностике. Целью скрининга является лишь обнаружение или исключение заболеваний у клинически бессимптомных лиц, в отличие от обследования заведомо больных, направленного на оценку характера и выраженности патологического процесса.

Скрининг имеет как преимущества, так и недостатки. Решение о необходимости скрининга принимается путём взвешивания этих факторов. Скрининг позволяет выявлять заболевания в их ранних, бессимптомных стадиях, на которых лечение более эффективно. Но как и любые другие медицинские исследования, скрининговые методы не являются совершенными. Результаты скрининга могут быть как ложно-положительными, указывая на наличие в действительности отсутствующей болезни, так и ложно-отрицательными, не обнаруживая существующую болезнь. Скрининг требует затрат на медицинские ресурсы на фоне того, что большинство обследованных лиц оказываются здоровыми.

Однако в настоящее время практически не используются приборы и системы, способные распознать “опасные”, связанные с риском летального исхода, состояния пациентов. Поэтому необходимость применения экспресс-диагностики “опасных” состояний пациентов связана с использованием электронных приборов, которые дают возможность правильно оценить состояние пациента, экстренно собрать все необходимые анализы и точно и быстро поставить диагноз. Эти электронные приборы – оборудование для экспресс-диагностики. Это биохимические анализаторы, анализаторы электролитов, анализаторы кардиомаркеров, анализаторы мочи, гематологичес-

кие анализаторы. К приборам для самоконтроля относятся биохимические приборы, которые не требуют в обращении специальных навыков, не нуждаются в калибровке, компактны, представляют собой биохимический аппарат, предназначенный для экспресс-диагностики крови в режиме реального времени. Также есть ещё различные коагулометры, глюкометры и алкометры. Все эти мобильные тест-приборы призваны на помощь врачу или самому пациенту в правильной оценке своего состояния организма. Недостатком всех этих приборов является то, что все они производятся за рубежом. Это отражается на цене прибора экспресс-диагностики. Большинство приборов создаётся не как комплексная система диагностики, а как отдельное тестирующее устройство. Например, современный компактный гематологический анализатор, который предназначен для выполнения общеклинических исследований крови непосредственно рядом с пациентом, стоит порядка 500 тыс. руб. Наши же аналоги не сильно отличаются ценой, и вдобавок не лучше, а даже хуже показывают свою производительность и точность анализов, чем зарубежные. Причём все они в основном сделаны для узкоспециализированных целей. Поэтому нужно разработать такой прибор (или систему), который сочетал бы в себе многофункциональность, точность, быстроту работы и минимум затрат на его производство [5].

Авторы предлагают систему экспресс-диагностики пациентов (рис. 1), которая сочетает в себе низкую цену, высокое качество, быстрое действие, надёжность в исследовании анализов пациента с помощью методов экспресс-диагностики за короткий промежуток времени, что позволит при наличии “опасных” патологий их вовремя распознать, принять необходимые методы терапии и, тем самым, спасти жизнь пациента.



Рисунок 1– Комплексная система экспресс-диагностики

Данная система позволяет провести диагностику пациента за максимально короткий срок, проанализировать его организм по основным показателям и поставить точный диагноз “острого” состояния пациента. Для удобства немедленного оповещения можно передать его карту здоровья через Интернет в больницу на компьютер или на другой электронный прибор, оснащённый таким же интерфейсом, что и данный комплекс.

В заключение отметим, что в настоящее время существует проблема нехватки автоматизированного комплекса экспресс-диагностики и экспресс-тестов, который мог бы, по совокупности информативных параметров, оценивать

состояние пациента в режиме экспресс-анализа и помогал бы специалисту в постановке точного и своевременного диагноза за короткий промежуток времени. Желательно, чтобы затраты на производство подобного прибора диагностики были низкими, а эксплуатация не требовала дополнительной квалификации специалиста. Авторы статьи считают необходимым развивать это новое, перспективное направление в области медико-биологических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломин И.Л. *Экспресс-диагностика персонала*. – М. : Речь, 2008.
2. Стрельников А.А. *Ранняя и дифференциальная диагностика основных инфекционных заболеваний : Учебно-методическое пособие*. – СПб. : СпецЛит, 2010.
3. Шляхов Э.Н. *Ускоренные методы диагностики инфекционных болезней : Сборник трудов*. – Кишинев : Изд-во Штиинца, 1997.
4. Сидорова М.А., Ерушова Н.А. Система скринингового исследования параметров гемостаза // *Известия ЮФУ. Технические науки. Медицинские информационные системы*. – 2008. – № 5. – С. 72–75.
5. Крысюк О.Б. *Приборы для экспресс-диагностики : Сборник трудов*. – СПб. : СпецЛит, 2010.

УДК 616.1

СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ СЫВОРОТКИ КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ С ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

- © Н.Ю. Келина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © Т.Ю. Мамелина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © О.А. Куликова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © С.Н. Чичкин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

WAYS AND METHODS OF LABORATORY CONTROL OF BLOOD SERUM IN PATIENTS WITH HYPERTENSIVE DISEASE (ANALYTICAL REVIEW)

- © N.J. Kelina, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © T.J. Mamelina, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © O.A. Kulikova, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © S.N. Chichkin, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Определены способы и методы лабораторного контроля сыворотки крови пациентов с гипертонической болезнью, с учетом влияния разнообразных факторов и оценки адаптации.

Ключевые слова: адаптация, гомеостаз организма, иммунный статус.

Identify ways and methods of laboratory monitoring of the blood serum of patients with hypertension, with account of the influence of the various factors and adaptation assessment.

Key words: adaptation, the homeostasis of the organism immune status.

E-mail: nukelina@yandex.ru

Ускорение технического прогресса, увеличение степени загрязнения окружающей среды, значительный рост стрессогенности современного образа жизни увеличивает риск развития заболеваний сердечно-сосудистой системы [1].

Степень риска возникновения заболевания зависит от наличия функциональных резервов организма, его устойчивости при воздействии разнообразных факторов, от сопротивляемости организма болезнетворным влияниям. Все эти свойства определяют способность организма адаптироваться к изменениям условий окружающей среды [9, 11].

Функциональное состояние организма в интервале между нормой и патологией определяет риск возникновения и развития болезни. Проблема оценки текущего уровня индивидуального здоровья и контроля за изменениями состояния приобретает все более важное значение для населения в целом, особенно для лиц, подверженных высоким нагрузкам, прежде всего психоэмоциональным, и факторам окружающей среды [1, 6].

Изучение влияния на здоровье населения отдельных, конкретных факторов среды и их комбинации позволяет проводить выявление тех факторов, которые вызывают те или иные заболевания [3, 10].

Вопросы охраны окружающей среды и ее контроля являются предметом официальной государственной политики. Вместе с тем ведущие ученые специалисты смежных специальностей активно ведут разработку методов и критериев оценки влияния факторов окружающей среды на здоровье населения [6, 10].

Сформировался и успешно развивается комплексный раздел экологии – экология человека, изучающий общие закономерности взаимоотношений организма человека с факторами окружающей среды разной природы (физическими, химическими, биологическими), адаптационно-приспособительные процессы, механизмы взаимодействия организма с комплексом благоприятных и неблагоприятных факторов среды антропогенного происхождения [1, 13].

Многочисленные факторы окружающей среды являются непосредственной причиной или условием возникновения ряда заболеваний. Наиболее глубоко изучена роль факторов окружающей среды по отношению к развитию гипертонической болезни [3, 6].

С экологической точки зрения, исследования, установившие роль факторов риска в возникновении и развитии гипертонической болезни, нельзя считать завершенными до тех пор, пока не будут выработаны соответствующие ПДК [1, 10].

Современная концепция ПДК учитывает реактивность организма и его способности адаптироваться к воздействию факторов окружающей среды. ПДК – это концентрация вещества или интенсивность его воздействия, при котором может наступить полная адаптация человека [6, 10, 13].

По отношению внутренних факторов организма существуют согласованные пределы допустимых изменений (по уровню артериального давления, содержанию холестерина в крови и др.) [8]. Возникающие при этом изменения в

организме (нарушение липидного обмена, артериальная гипертензия, морфо-функциональные изменения в миокарде) рассматриваются клиницистами как непосредственные причинные факторы гипертонической болезни, в то время как воздействие факторов считается условием развития этого заболевания [13].

Болезнь – это всегда результат нарушения нормальной регуляции функций со стороны регуляторных механизмов на клеточно-молекулярном, органно-системном или организменном уровне. Такое нарушение возникает вследствие воздействия внешних или внутренних факторов [1, 11].

Для развития болезни, помимо наличия экологических факторов риска, необходимо еще, по крайней мере, два условия: 1) наличие предрасположенности к болезни, 2) уменьшение защитных свойств организма, снижение его адаптационных возможностей [3].

Гомеостатические свойства целостного организма являются результатом одновременного действия многочисленных сложно организованных регуляторных механизмов, среди которых одно из центральных мест занимает иммунная регуляция, обеспечивающая постоянство уровней вещества и энергии в организме, его органах и тканях [9, 12].

Эндогенные пептидные биорегуляторы и биогенные амины играют важную роль в механизме возникновения ряда заболеваний, связанных с изменением деятельности защитных функций иммунной системы [12]. При патологии в сыворотке крови человека увеличивается уровень специфических е-Ат, что ведет к изменению их свойств. Эти молекулы способны связываться с биорегуляторами биологических жидкостей и участвовать в регуляции гомеостаза [4, 5, 7].

Достижения в фундаментальных исследованиях гипертонической болезни позволили предложить комплекс параметров биохимического и клинического состояния сыворотки крови с учетом исследования информационно-технологического комплекса. При использовании данного подхода была установлена взаимосвязь общеклинических лабораторных показателей, применяемых в практике клинико-лабораторной диагностики, нарушений систем регуляции на уровне образования антител к нейромедиаторам и функциональных систем организма.

Клинико-лабораторные методы оценки позволяют выявить степень тяжести состояния больных при гипертонической болезни.

Критерии эффективности в доказательной медицине делят на косвенные и прямые. К прямым критериям эффективности относят выздоровление, снижение летальности, осложнений, улучшение качества жизни. Косвенные критерии отражают положительное изменение исследуемых показателей (например, нормализация ферментов и т.п.) [7].

В связи с этим основным требованием к проведению медико-биологических научных исследований являются:

- правильная организация (дизайн исследования) и математически обоснованный способ рандомизации;
- четко обозначенные и соблюденные критерии включения и исключения из исследования;

- корректное использование статистических методов обработки данных.

Стандартная оценка степени тяжести состояния больных необходима в прогнозировании течения заболевания у больных с гипертонической болезнью, для чего используют необходимый набор лабораторных тестов и, соответственно, результатов исследований [2].

Решение актуальной медико-социальной проблемы, связанной с оценкой иммунного статуса для формирования групп риска, диагностикой, лечением и профилактикой ряда заболеваний людей, включает в себя разработку новых методов иммунобиохимической диагностики [7].

Фундаментальные исследования на стыке иммунологии и медицины выявили следующие закономерности:

1. При развитии патологии любого генеза происходит нарушение функционирования иммунной системы.

2. Обнаружены новые диагностические маркеры, отражающие начальные стадии заболевания.

3. Показана возможность использования новых методов иммуноферментного анализа для определения естественных антител к нейромедиаторам в практической медицине [4, 5, 7].

Для оценки иммунного статуса результаты, полученные с использованием иммуноферментного метода, позволяют:

- провести сверхраннюю диагностику патологических изменений в организме человека;

- провести раннюю диагностику уже имеющихся или только начинающихся заболеваний;

- дополнить полученные аналитические показатели клинико-биохимических параметров и уровня клеток иммунной системы, что позволит получить более полную информацию об иммунном статусе организма больного;

- оценить и откорректировать клинико-лабораторную диагностику пациента;

- предложить индивидуальную программу обследования больного с кардиологической патологией.

Одним из основных методов доказательных исследований является математическое моделирование, предусматривающее выявление наиболее информативных качественных и количественных характеристик степени тяжести развития состояния при кардиологической патологии. Под математической моделью понимается связь между многочисленными переменными, выраженная на языке различных уравнений и их систем. Теоретически рассчитанная модель сопоставляется с результатами клинико-лабораторного мониторинга для устранения возможных расхождений [2].

В литературе описана технология математического моделирования в медицине, позволяющая объективизировать выбор показателей оценки тяжести состояния и исхода лечения пациентов. Она включает в себя следующие этапы:

- разработка специализированной базы данных, необходимых для формирования и накопления сведений о пациентах для решения конкретной задачи;

- отбор и ранжирование информативных показателей;
- получение ряда математических уравнений, описывающих связь между параметрическим критерием состояния (исхода) и набором наиболее информационно значимых показателей;
- выбор оптимального уравнения и проверка его на независимой выборке;
- решение собственно исследовательской задачи путем сравнения расчетного (прогнозируемого) исходного заболевания (состояния) с реальным;
- оценка на этой основе эффективности лечебно-диагностической методики.

Особый интерес для биологии и медицины представляет моделирование состояния живых систем в экстремальных условиях, что позволяет более адекватно оценивать динамику тяжести состояния больного и прогнозировать исход заболевания в процессе клинико-лабораторного мониторинга [2, 3].

В экологии и медицине под экстремальными условиями понимают воздействие внешних факторов, которые переводят живую систему в критическое состояние, изучение которого является одной из актуальных клинических проблем [9].

Для выживания в критических состояниях живой системе необходимо адаптироваться, самоорганизоваться, мобилизоваться, что требует изменения уровня метаболических реакций организма. Поэтому математические модели должны базироваться на представлениях об общих механизмах адаптации (приспособления) живых систем к экстремальным условиям [13]. Критерием оптимизации организма считается сохранение постоянства (гомеостаза) или минимального изменения ограниченного числа жизненно важных параметров при минимальном в данных условиях расходе энергии [9, 11].

Таким образом, рассмотрение особенностей конкретных физиологических, иммунологических и биохимических систем организма, а также вычисление внешних и внутренних факторов, приводящих живую систему (функциональную систему, организм, популяцию) в экстремальное состояние, позволит описать и проанализировать функциональные (обратимые) и органические (приобретенные) изменения живой системы и возможные способы их диагностирования и прогнозирования при гипертонической болезни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авалиани С.Л. Разработка управленческих решений в целях обеспечения безопасности для здоровья населения в зоне влияния выбросов крупных промышленных комплексов / С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева, Л.Е. Безпалько [и др.] // *Гигиена и санитария*. – 2006. – № 1. – С. 40–42.
2. Громов А.А., Кручинина М.В., Рабко А.В. *Инновационные технологии в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний* // *Материалы III Национального конгресса терапевтов*. – М. : Бионика, 2008. – С. 59–60.

3. Захарченко М.П. Проблема гигиенической диагностики здоровья в медицине окружающей среды / М.П. Захарченко, В.М. Захарченко, М.М. Захарченко [и др.] // Гигиена и санитария. – 2005. – № 6. – С. 67–70.
4. Келина Н.Ю. Роль иммуно-биохимического анализа в оценке состояния пациентов с кардиопатологией / Н.Ю. Келина, Т.Ю. Мамелина, О.А. Куликова [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 142–146.
5. Мягкова М.А. Определение естественных антител к эндогенным биорегуляторам у больных игроманией методом иммуноферментного анализа / М.А. Мягкова, Т.Н. Дудко, Л.Ф. Панченко [и др.] // Наркология. – 2006. – № 12. – С. 39–42.
6. Онищенко Г.Г. Актуальные проблемы методологии оценки риска и ее роль в совершенствовании системы социально-гигиенического мониторинга // Гигиена и санитария. – 2005. – № 2. – С. 3–6.
7. Петроченко С.Н. Иммуноферментный анализ естественных антител к эндогенным биорегуляторам для диагностики заболеваний зависимости / С.Н. Петроченко, М.А. Мягкова, В.С. Морозова [и др.] // Наркология. – 2007. – № 10. – С. 30–34.
8. Прокопович А.С. Многокритериальная оценка результатов клинико-лабораторных исследований / А.С. Прокопович, Т.И. Чегерова, Е.В. Воробей [и др.] // Клиническая лабораторная диагностика. – 2004. – № 9. – С. 22–23.
9. Савилов Е.Д., Выборова С.А. Состояния адаптации как показатель здоровья // Гигиена и санитария. – 2006. – № 3. – С. 7–8.
10. Суржиков Д.В. Оценка эффективности проектов, направленных на снижение риска здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха // Экология человека, гигиена и медицина окружающей среды на рубеже веков: состояние и перспективы развития : Матер. Всероссийской науч. конф. – М., 2006. – С. 473–477.
11. Ушаков И.Б., Володин А.С., Чикова С.С., Зуева Т.В. Медицинские аспекты защиты здоровья населения от вредного воздействия факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. – 2005. – № 6. – С. 29–34.
12. Цибулькин А.П. Иммунная система человека – от защиты к патологии // Казанский медицинский журнал. – 2006. – № 1. – С. 1–7.
13. Юшков Б.Г. Система крови и адаптация организма к экстремальным воздействиям // Вестник РАМН. – 2006. – № 3. – С. 3–6.

УДК 616.1:004.04

**ТЕХНОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ
ПАЦИЕНТОВ С ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ НА ОСНОВЕ
ИММУНОБИОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЫВОРОТКИ КРОВИ**

- © *Н.Ю. Келина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
- © *В.В. Пикулин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
- © *Т.Ю. Мамелина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
- © *С.Н. Чичкин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

**TECHNOLOGY LABORATORY CONTROL OF PATIENTS WITH
HYPERTENSIVE DISEASE ON THE BASIS OF IMMUNE-
BIOCHEMICAL ANALYSIS OF BLOOD SERUM**

- © *N.J. Kelina, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
- © *V.V. Pikulin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
- © *T.J. Mamelina, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
- © *S.N. Chichkin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Статья посвящена изучению иммунобиохимического анализа сыворотки крови больных гипертонической болезнью. Предложена информационная система лабораторного контроля пациентов с данной нозологией.

Ключевые слова: лабораторный контроль, гипертоническая болезнь, информационная система.

The article is devoted to the study of immune-biochemical analysis of blood serum of patients with hypertensive disease. Proposed information system of laboratory monitoring of patients with this nosology.

Key words: laboratory control, a hypertonic disease, an information system.

E-mail: nukelina@yandex.ru

Гипертоническая болезнь – самостоятельное заболевание, порожденное нарушениями регуляции артериального давления крови в организме человека.

Лабораторный контроль клинических, биохимических и иммунологических параметров крови определялся появлением и усовершенствованием методов клинико-лабораторной диагностики, что позволило изучить течение и прогнозирование гипертонической болезни.

В связи с этим выявление биохимических и иммунологических особенностей течения ГБ и лабораторный контроль на основе методов диагностики, профилактики и лечения являются одной из главных проблем современной медицины.

Тяжесть состояния, развивающаяся при гипертонической болезни, вызвана накоплением в крови продуктов метаболизма, которые нередко

представляют большую опасность для организма, чем первичный патологический процесс.

Стандартная оценка тяжести состояния больных проводится с использованием необходимого набора лабораторных тестов и, соответственно, с анализом результатов исследований [1, 7].

Основными требованиями к проведению медико-биологических научных исследований являются: правильная организация (дизайн исследования) и математически обоснованный способ рандомизации; четко обозначенные и соблюденные критерии включения и исключения из исследования; корректное использование статистических методов обработки данных [4].

Методы оценки состояния организма можно разделить:

- по критериям эффективности адаптационных систем,
- клинико-лабораторным показателям.

Оценке адаптационных возможностей организма и риску развития гипертонической болезни уделяется огромное внимание как вопросам методологического плана, так и нахождению методов оценки и разработки способов и методик клинико-лабораторного анализа [1, 4]. Известно, что важным источником информации о состоянии адаптационных резервов организма является исследование иммунной системы [3].

Учитывая появление в литературе данных о том, что аутоантитела являются одним из основных молекулярных инструментов участия иммунной системы в контроле за антигенно-молекулярным гомеостазом при экстремальном стрессе [5], были проведены иммуно-биохимические исследования с целью выявления наличия аналогичных веществ в крови больных при стрессогенных заболеваниях [5, 6]. В сыворотке больных выявлены аутоантитела к нейромедиаторам и нейрорегуляторам [6].

Аналогичная картина получена при иммуноферментном анализе [5].

Проведенные иммуноферментные исследования сыворотки крови больных гипертонической болезнью подтвердили присутствие в крови е-АТ к нейромедиаторам в количествах, значительно превышающих таковые у здоровых людей [3, 4].

По-видимому, накопление в крови больных гипертонической болезнью е-АТ к нейромедиаторам играет определенную роль в происхождении тяжести состояния при этой патологии. Выработка естественных антител к эндогенным биорегуляторам различной природы связана с тем, что антитела, как белковые молекулы, являются стабильными носителями информации о процессах, происходящих в организме [3, 4, 6].

В медицинской практике широкое применение нашли иммунохимические методы анализа, используемые для определения физиологически активных веществ и вырабатываемых к ним антител.

Однозначно определить физиологическую роль е-АТ в настоящее время не представляется возможным. Из публикаций, посвященных изменению содержания е-АТ, известно, что при резком повышении продукции е-АТ они отражают патогенетическую роль, являясь одним из факторов (вероятно, вторичных) патогенеза заболевания, в том числе и при гипертонической болезни [5, 6].

Основная физиологическая функция е-АТ заключается в выведении из организма потенциально патогенных субстанций, продуктов клеточной деградации. Они обладают полиспецифичностью и способны связываться с целым рядом собственных молекул организма.

Сложным и нерешенным остается вопрос об оптимальных программах лабораторного контроля е-АТ в сыворотке крови у лиц, страдающих гипертонической болезнью.

По данным литературы исследования е-АТ к нейромедиаторам в сыворотке крови дают объективную оценку и являются маркерами тяжести при различной патологии.

Цель настоящей работы – предложить технологию лабораторного контроля иммунобиохимического гомеостаза на основе определения естественных антител к нейромедиаторам.

Материал и методы

Исследовались пациенты с гипертонической болезнью, из них мужчин – 30 человек, женщин – 35 человек, средний возраст которых составлял $50 \pm 7,3$ лет. И группа из 41 человека – практически здоровые люди без клинических проявлений кардиологических заболеваний (по данным амбулаторного обследования) в возрасте $38 \pm 7,3$ лет. Нозологическая характеристика проводилась согласно классификатору болезней МКБ – 10.

Основными материалами исследований служили образцы сыворотки крови.

При определении естественных антител к нейромедиаторам применялся иммуноферментный анализ. Учёт результатов осуществляли на спектрофотометре с вертикальным ходом луча фирмы “Bio-Rad”.

В сыворотке крови анализируемых больных проводился спектр клинико-лабораторных анализов, традиционно используемых в практике ЛПУ.

Для статистической обработки результатов использовали комплекс статистических методов с применением пакета программ IBM SPSS, 20 для научных исследований.

Результаты и обсуждение

Основанием для разработки предлагаемой нами технологии лабораторного контроля пациентов с гипертонической болезнью послужили фундаментальные достижения иммунологии в анализе иммунобиохимического гомеостаза и внедрение разработанных лабораторных методов определения маркеров, отражающих нарушение систем регуляции на уровне функционирования гуморального звена иммунной системы.

Проведенное клинико-лабораторное исследование пациентов с гипертонической болезнью выявило нарушения систем регуляции на уровне образования антител к нейромедиаторам. Была установлена взаимосвязь общепринятых лабораторных показателей, применяемых в практике клинико-лабораторной диагностики при клинико-биохимическом контроле анализируемой нозологии.

Разработана схема выполнения исследования, ключевыми блоками в которой являются:

- 1) выполнение анализов;
- 2) обработка персональных результатов;
- 3) подготовка данных для анализа динамики персональных показателей;
- 4) данные для анализа динамики персональных показателей, которые могут быть в различных формах представления.

Для реализации данной схемы исследований применяется информационная поддержка, которая складывается из нескольких компонентов: информационная поддержка процессов иммуно-биохимического анализа предполагает применение структурной модели информационной системы, представляемой как функциональная модель процесса биохимических и иммунохимических исследований (IDEF0) (рис. 1).

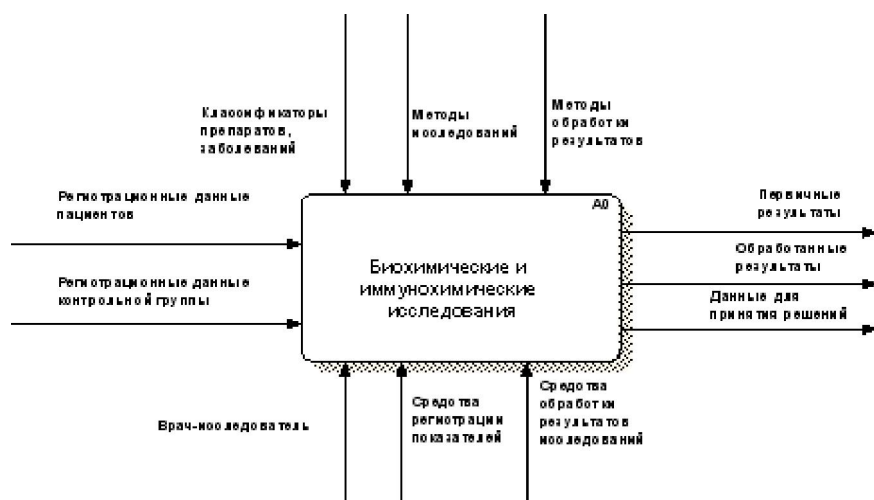


Рисунок 1 – Контекстная функциональная диаграмма

Детализация процесса исследований включает измерение и регистрацию показателей и их обработку (рис. 2).

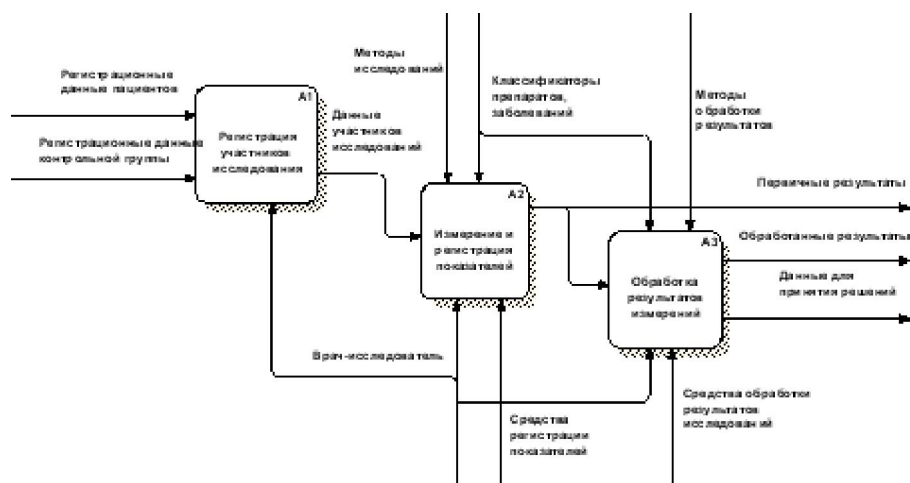


Рисунок 2 – Детализация процесса биохимического и иммунохимического исследования

Технология лабораторного контроля пациентов с гипертонической болезнью позволяет оценить информативность иммунологических и биохимических параметров.

Таким образом, информационная система позволит развить и усовершенствовать предлагаемый метод контроля состояния пациентов и исследовать возможность использования формальных моделей для обеспечения достоверности оценок функционального состояния органов и систем; сокращения продолжительности процесса анализа; раннего выявления патологических изменений иммуно-биохимического статуса на основе мониторинга накапливаемых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бережнова И.А. Особенности прогностической значимости и диагностической эффективности некоторых клинико-диагностических показателей при хронической сердечной недостаточности у лиц старшей возрастной группы / И.А. Бережнова, Л.Н. Алипова, Т.Ю. Маркова [и др.] // *Материалы III Национального конгресса терапевтов*. – М. : Бионика, 2008. – С. 24.
2. Зыков К.А. Выявление особенностей аутоиммунных реакций при хронической сердечной недостаточности различной этиологии / К.А. Зыков, С.Н. Татенкулова, В.П. Масенко [и др.] // *Терапевтический архив*. – 2009. – № 4. – С. 36–40.
3. Келина Н.Ю. Роль иммунобиохимического анализа в оценке состояния пациентов с кардиопатологией / Н.Ю. Келина, Т.Ю. Мамелина, О.А. Куликова [и др.] // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 142–146.
4. Кишкун А.А., Арсенин С.Л., Кольченко О.Л. Доказательная лабораторная медицина (лекция) // *Клиническая лабораторная диагностика*. – 2005. – № 5. – С. 25–32.
5. Мягкова М.А. Определение естественных антител к эндогенным биорегуляторам у больных изгромазией методом иммуноферментного анализа / М.А. Мягкова, Т.Н. Дудко, Л.Ф. Панченко [и др.] // *Наркология*. 2006. – № 12. – С. 39–42.
6. Полетаев А.Б., Чурилов Л.П. Физиологическая иммунология, аутоиммунитет и здоровье // *Вестник международной академии наук (русская сенсация)*. – М., 2009 – С. 11–16.
7. Старцева О.Н., Хоровская Л.А., Эмануэль В.Л. Иерархичный подход к системе медицинских лабораторных исследований (лекция) // *Клиническая лабораторная диагностика*. – 2003. – № 11. – С. 25–35.

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ
КРОВИ ПРИ СКРИНИНГОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПАТОЛОГИЙ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

© *М.А. Сидорова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

© *Н.А. Сержантова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

**FEATURES OF APPLICATION OF BIOCHEMICAL ANALYSES OF
BLOOD TO SCRINING DIAGNOSTICS OF CARDIOVASCULAR
SYSTEM PATHOLOGIES**

© *M.A. Sidorova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *N.A. Serzhantova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Рассмотрены вопросы поиска эффективных методов экспресс-диагностики тромбозов и эмболий и особенности применения биохимических анализов крови при проведении скрининговых исследований. Сделан вывод, что для своевременного выявления тромбозов и предотвращения возможных осложнений необходимо внедрение скрининговой системы для формирования групп риска и выявления больных, нуждающихся в помощи специалиста. В качестве скринирующих были выбраны методы лабораторной диагностики параметров гемостаза.

Ключевые слова: скрининговые исследования, параметры гемостаза, исследования патологий, выявление тромбозов и эмболий, анализ методов, лабораторная диагностика.

Questions of search of effective methods the clottages and embolismse xpress-diagnostics are surveyed and features of application of biochemical analyses of blood at carrying out scrining researches. It is drawn a conclusion, for well-timed revealing clottages and prevention of probable complications introduction scrining systems for formation of risk groups and revealing of the patients requiring the help of the expert is necessary. As scrining methods of laboratory diagnostics parameters of a hemostasis have been chosen.

Key words: scrining researches, parameters of a hemostasis, research of pathologies, revealing of clottages and embolisms, the analysis of methods, laboratory diagnostics.

E-mail: sidorova_mailbox@mail.ru; itmmbspgta@yandex.ru

Болезни сердца являются бичом XX века и до сих пор остаются одной из главных проблем XXI века. Причины возникновения самих сердечных болезней достаточно разнообразны. Здесь может сказываться и возраст больного человека, и факторы, которые провоцируют все эти неприятности, в виде алкоголя, курения и ведения малоподвижного образа жизни. На состояние нашей сердечно-сосудистой системы все в большей степени отрицательно влияют и экологические факторы. Плохая экология – это не просто то, где мы живем, но и то, что мы пьем, едим, каким воздухом дышим. Сердечно-сосудистые заболевания могут быть вызваны экологическими загрязнениями воздуха, рядом химических веществ, которые содержатся в лекарственных препаратах и используемых человеком продуктах. Подобные загрязнители негативным образом влияют на сердечные процессы. Ввиду своей опасности сердечные болезни должны диагностироваться на ранних стадиях.

Возникновение и развитие тромбозов и эмболий объединяет целый ряд заболеваний и осложнений, в том числе и такие грозные сердечно-сосудистые нарушения, как инфаркт миокарда, инсульт, тромбоэмболия легочной артерии. С многогранной проблемой тромботических и эмболических закупорок кровеносных сосудов в своей повседневной практике сталкиваются кардиологи, неврологи, хирурги, онкологи, гинекологи, реаниматологи и многие другие специалисты.

Все заболевания и осложнения, вызванные тромбозами и эмболиями, можно разделить на две большие группы – тромбозы/эмболии венозного и артериального русла. Однако кровеносное русло едино, предрасполагающие факторы и инициирующие события для этих патологий нередко схожи, и потому атеротромботические проблемы и венозный тромбоэмболизм тесно взаимосвязаны. Больной с инсультом или инфарктом, имеющий серьезные нарушения гемостаза и вдобавок обреченный на вынужденную гиподинамию, часто переживает тромботические и тромбоэмболические осложнения со стороны глубоких вен. В свою очередь, венозный тромбоз может стать причиной тяжелых, нередко фатальных гемодинамических нарушений, вызвав тромбоэмболию легочной артерии или парадоксальный инсульт при открытом овальном окне [1].

По данным International Consensus Statement частота тромбоза глубоких вен составляет около 160 случаев на 100000 населения с частотой фатальной тромбоэмболии легочной артерии 60 на 100000 населения. В России венозным тромбозом ежегодно заболевают 240000 человек, а эмболия легочных артерий, в том числе фатальная, развивается у 100000 из них, что значительно превышает показатели заболеваемости туберкулезом, вирусным гепатитом, а также ВИЧ-инфекцией. В США по поводу тромбоза глубоких вен ежегодно госпитализируется примерно 200000 человек. При этом 1/3 приходится на повторные тромбозы. Среди жителей Италии, находящихся в наиболее активно трудоспособном возрасте (от 20 до 55 лет) тромбоз глубоких вен диагностируется в пределах 1 %. Посттромбофлебитическая болезнь как следствие повреждения венозной стенки и, в особенности, клапанов глубоких вен в ходе течения острого флеботромбоза глубоких вен является на данный момент серьезной проблемой флебологии. Тяжелое течение и развитие в отдаленном периоде посттромбофлебитической болезни (ПТФБ) нижних конечностей создает значительные социальные и экономические проблемы. Осложненные формы ПТФБ нижних конечностей в индустриально развитых странах встречаются у 1 % населения. В ближайшие 10 лет от начала заболевания 1/3 больных становятся инвалидами. У 60 % больных возникают рецидивы заболевания с такими проявлениями, как постоянные отеки, рецидивирующие трофические язвы, дерматиты, псевдоварикоз, являющимися причиной длительных мучительных страданий. Потеря трудоспособности и инвалидизация больных достигает 40–79,9 %. Венозные тромбозы возникают в самых разнообразных клинических ситуациях и осложняют течение многих заболеваний. Частота развития послеопераци-

онных тромбозов, по данным разных авторов, составляет 20–59 %. Результаты лечения как острого флеботромбоза, так и его последствий нельзя считать удовлетворительными [2].

Таким образом, предупреждение и лечение тромбозов является одной из важнейших задач повседневной клинической практики. Широкое распространение тромбозов и эмболий, высокая летальность, полиморфизм симптомов и осложнений, тяжелые последствия при несвоевременной диагностике нарушений подобного рода обуславливают актуальность исследований, направленных на поиск наиболее эффективных методов диагностики (как инвазивных, так и неинвазивных), и их усовершенствование [3–5].

Обзор существующих методов диагностики тромбозов и эмболий позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на достижения научно-технического прогресса в областях медицины и медицинской техники, существует слишком мало современных приборов для эффективной экспресс-диагностики и комплексного исследования тромбоземболии. Существующие методы и диагностические методики не всегда дают четкую картину заболевания. К ним относятся современные методы флебографии, УЗИ-диагностики, ангиографии, рентгенографии, которые должны применяться в комплексе для постановки окончательного диагноза. В общем случае процесс постановки диагноза растягивается во времени, включает поэтапное проведение комплекса диагностических мероприятий и требует значительных материальных затрат. В связи с этим для своевременного выявления тромбозов и предотвращения возможных осложнений необходимо внедрение скрининговой системы для формирования групп риска и выявления больных, нуждающихся в помощи специалиста [6]. Были выявлены группы больных со склонностью к образованию тромбов и эмболов. К ним относятся больные: 1) находящиеся на длительном постельном режиме после операции; 2) с застойной хронической сердечной недостаточностью; 3) с сосудистым атеросклерозом; 4) опухолями; 5) беременные. У большинства из них не было выявлено нарушения гемостатических механизмов. Однако существуют определенные группы больных с врожденным или приобретенным состоянием гиперкоагуляции или претромбоза, предрасполагающим к рецидивирующему тромбозу [4, 5]. Очевидно, что для решения поставленных задач по предварительной диагностике и профилактике тромбозов и эмболий, скрининговая система должна быть доступна населению, а следовательно, из ее состава автоматически исключаются технически сложное, дорогое оборудование, имеющееся в наличии лишь у небольшого количества специализированных диагностических центров.

Состояние гиперкоагуляции или претромбоза можно выявить с помощью детального анамнеза. При этом известны три диагностических критерия: 1) рецидивы тромбоземболии без проявления упомянутых состояний; 2) семейная форма тромбоза; 3) подтвержденная склонность к тромбоземболии у лиц подросткового и молодого возраста. До сих пор в клинической практике отсутствуют скрининг-тесты для определения состояния претром-

боза. Однако ряд подобных нарушений выявляют с помощью иммунологических и функциональных методов.

Проведенные исследования показали, что для повышения качества диагностики тромбозов и эмболий целесообразно применение инвазивных методов лабораторной диагностики. Наиболее важным и информативным в данном случае является анализ крови.

Биохимические механизмы коагуляции крови принято рассматривать как унифицированный процесс. В действительности же механизм свертывания крови варьирует в зависимости от локализации дефекта. Кроме того, отмечаются некоторые различия между гемостатическими пробками, образующимися в результате либо физиологической реакции на повреждение, либо патологического тромбоза. Чтобы подчеркнуть сходство, тромбоз часто описывают как коагуляцию без учета конкретного места и времени. Гемостатическая пробка или тромбы, которые образуются в венах с медленным кровотоком, богаты фибрином и эритроцитами, но содержат относительно мало тромбоцитов. Их часто называют красными тромбами, в связи с тем, что они образуются во время операций и в патологических участках. Рыхлые хвосты этих тромбов, которые обычно формируются в венах ног, могут отрываться и вызывать эмболию сосудов малого круга кровообращения. С другой стороны, сгустки, образованные в артериях в условиях ускоренного кровотока, состоят преимущественно из тромбоцитов и небольшого количества фибрина. Эти белые тромбы легко отделяются от артериальной стенки, поэтому могут вызвать эмболию в отдаленном участке и служить причиной временной или устойчивой ишемии. Это особенно типично для сосудов мозга и сетчатой оболочки и может привести к временной неврологической дисфункции (преходящее нарушение мозгового кровообращения), включая временную одностороннюю слепоту (преходящая слепота), или к инсульту. Наконец, накапливаются данные о том, что инфаркт миокарда в большинстве случаев обусловлен тромбами, образующимися в атеросклеротически измененных коронарных артериях.

К основным скринирующим лабораторным методам при первичном гемостазе относятся: 1) оценка времени кровотечения (оценка функции тромбоцитов); 2) подсчет числа тромбоцитов. Последний метод особенно полезен, поскольку прост в выполнении и коррелирует с проявлением кровотечения.

При качественных изменениях тромбоцитов их число может быть не изменено, но удлиняется время кровотечения. Несмотря на то что время кровотечения у некоторых больных составляет более 10 мин, риск кровотечений у них невелик, он не повышается до тех пор, пока время кровотечения не превысит 15–20 мин. Если не известен дефект в первичном гемостазе, необходимо провести специальное исследование с тем, чтобы определить причину дисфункции тромбоцитов. Точный диагноз имеет жизненно важное значение, поскольку больные с нарушением первичного гемостаза нуждаются в переливании тромбоцитарной массы, фракций плазмы, а также в лечении кортикостероидами в зависимости от природы дефекта.

Функционально плазменные факторы коагуляции оценивают с помощью таких лабораторных тестов, как частичное (парциальное) тромбопластиновое время, протромбиновое время, тромбиновое время и количество фибриногена. Частичное тромбопластиновое время свидетельствует о внутренней функциональной недостаточности системы коагуляции и адекватности факторов XII, высокомолекулярного кининогена, прекалликреина, факторов XI, IX и VIII. Протромбиновое время определяет внешний (не свойственный), или тканевой, факторзависимый путь коагуляции. Оба теста позволяют оценить общие механизмы коагуляции, включая все реакции, происходящие после активации фактора X. Необходимость в специфическом методе оценки превращения фибриногена в фибрин появляется в том случае, если одновременно удлиняется частичное тромбопластиновое и протромбиновое время; в этом случае определяют либо тромбиновое время, либо уровень фибриногена. Тест на зависимый от фактора XIII перекрестно связанный фибрин, например определение времени растворения сгустка в 5 М растворе мочевины, следует проводить, если протромбиновое и частичное тромбопластиновое время соответствует норме, но в анамнезе имеются указания на кровотечения. Фибринолитическую систему «оценивают по скорости лизиса сгустков цельной крови или эуглобулиновой фракции плазмы, а также уровню а-плазминового ингибитора. Если при проведении любого теста определяются изменения, то выяснить природу дефекта помогают специфические методы.

Не существует клинических тестов для прогнозирования гиперкоагуляции или претромботических нарушений, несмотря на то что в настоящее время в исследовательских лабораториях разработаны методы измерения малых пептидов, или ферментингибиторных комплексов, вырабатываемых в процессе коагуляции. Например, радиоиммунный метод предназначен для оценки фибринопептидов А и В комплекса тромбин – антитромбин и отщепляющихся фрагментов протромбина. У больных в состоянии претромботических нарушений и с тромбоэмболией повышен уровень этих продуктов. В настоящее время при подозрении у больного на гиперкоагуляцию необходимо проводить специфические тесты для скрининга ряда известных дефектов. общепринятые методы исследования позволяют идентифицировать 10–20 % случаев тромбоза, что составляет лишь небольшую часть больных, обратившихся к врачу по поводу тромбоэмболии [4, 5]. В связи с этим авторы предлагают увеличить количество скринирующих тестов. Современная медицина оперирует множеством различных биохимических показателей. С каждым годом предлагаются новые методы биохимического контроля нарушений гемостаза и практикующему врачу достаточно сложно оценить все многообразие взаимосвязей этих показателей. При анализе параметров возникает ряд трудностей, связанных с невозможностью разграничить диапазоны нормальных и патологических значений параметров. Представление о нормальном функционировании системы гемостаза очень условно и не имеет четких рамок. Клинически трудно определить нормальную кровопотерю при каждой конкретной травме. А резистент-

ность к протромботическим воздействиям вообще клинически оценить нельзя. Человек, не имевший в течение своей жизни ни одной тяжелой травмы, может никогда не узнать, что у него легкая форма коагулопатии. Относительно низкий уровень ингибитора свертывания крови может клинически проявиться тромбозом в старости или во время тяжелого заболевания, и развившийся тромбоз не будет оценен врачом правильно.

Поскольку лабораторные нормы определяют при исследовании здоровых лиц, врачи, как правило, не имеют четких границ нормальных показателей гемостаза. В сложных случаях диагноз строится на анализе лабораторных и клинических данных. Многие компоненты системы гемостаза лабильны, а на результаты анализа влияет целый ряд факторов [4, 5]. Постановка диагноза, в общем случае сводящаяся к классификации состояния пациента как нормального или патологического, очень плохо алгоритмизируется. Поэтому в качестве основы для построения скрининговой системы были выбраны нейронные сети, так как они способны обучаться, а также обобщать накопленную информацию и вырабатывать ожидаемую реакцию применительно к данным, не обрабатывавшимся в процессе обучения. В связи с этим нейронные сети представляются полезным инструментом врача для выявления закономерностей биохимических данных, что позволяет использовать их для диагностических исследований и оценки эффективности интенсивной терапии. Исследования возможности применения нейронных сетей в различных областях знаний посвящено множество работ, однако нейросетевые системы для анализа параметров гемостаза ранее не применялись, поэтому алгоритмы применения нейронных сетей, архитектура системы и способы сопряжения ее с базами экспериментальных данных в настоящее время не проработаны.

Проведенные исследования показали, что совокупность нейронных сетей позволяет производить поэтапную систематизацию параметров биохимии крови, в результате которой на первом этапе выявляется отклонение тех или иных параметров от нормы, а на втором выделяются две области “патологии”. В конечном итоге ставится предварительный диагноз о наличии или отсутствии патологических состояний системы гемостаза. При этом для использования нейронных сетей не требуется наличия специальных аппаратных средств в учреждениях здравоохранения. Обработка параметров биохимии крови проводится на обычном ПК.

Ожидаемые результаты исследований являются важными для обеспечения своевременной и качественной диагностики нарушений в системе гемостаза на ранних стадиях развития заболеваний. Исследования являются основой создания скрининговой системы диагностики параметров гемостаза, предназначенной для предварительной диагностики, что, в конечном итоге, опосредованно определяет перспективы сохранения здоровья населения.

Практическое применение скрининговой системы позволит в дальнейшем сократить временные и материальные затраты пациентов на дорогостоящую диагностику тромбозов и эмболий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ратманова А. Тромбозы и эмболии: Всемирному дню инсульта посвящается // *Medicine Review*. – 2008. – № 4 (04). – С. 1.
2. Цыплящук А.В. Оптимизация хирургического лечения острых эмбогенных флеботромбозов глубоких вен нижних конечностей : Автореф. дис. ...канд. мед. наук. – Новосибирск, 2008.
3. Савельев В.С. Тромбоэмболия легочных артерий – классификация, прогноз и хирургическая тактика // *Грудная хирургия*. – 1985. – № 5. – С. 10–15.
4. Patil S., Henry J.W., Rubinfire M. et al. Neural network in the clinical diagnosis of acute pulmonary embolism // *Chest*. – 1993. – Vol. 104. – P. 1685–1689.
5. Goldhaber S.Z., Kessler C.M., Heit J.A. et al. Recombinant tissue-type plasminogen activator versus a novel dosing regimen of urokinase in acute pulmonary embolism: a randomized controlled multicenter trial // *J. Amer. Coll. Cardiology*. – 1992. – Vol. 20. – P. 24–30.
6. Гельман В.Я. Медицинская информатика. – СПб. : Питер, 2001.
7. Долгов В.В., Свирин П.В. Лабораторная диагностика нарушений гемостаза. – М.–Тверь : ООО «Издательство “Триада”», 2005.

УДК 338.054.22+630

Ч49

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УЩЕРБА ОТ ЛЕСНЫХ
ПОЖАРОВ В РЕГИОНЕ**

© **Н.А. Черняева**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **В.Ф. Шишов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**THE ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE REGIONAL FOREST
FIRES LOSSES**

© **N.A. Chernyaeva**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **V.F. Shishov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена применению стохастической модели управления запасами для прогнозирования суммарного ущерба и запаса средств на предупреждение и ликвидацию последствий от лесных пожаров в регионе. Показано, как предложенную методику можно реализовать на примере лесного хозяйства региона.

Ключевые слова: лесные пожары, ущерб, прогнозирование, оптимальные запасы, закон распределения ущерба, показательное распределение, гамма-распределение, стохастическая модель управления запасами.

The article is devoted to problems of using the stochasting model in applying the resources for forecasting the summarized losses from forest fires and accumulating all the means for preventing and eliminating the losses caused by the accident in the region. One regional forest sector is taken as an example to demonstrate the practical application of this method.

Key-words: forest fires, loss, forecasting, optimal resources, losses destruction law, exponential distribution, gamma-distribution, the stochasting model of using resources.

E-mail: nachernyaeva@yandex.ru, vfshishov@mail.ru

Для прогнозирования ущерба от лесных пожаров и затрат на тушение на предстоящий период используем стохастическую модель управления запасами с непрерывным случайным спросом. Используя эту модель, определим величину ущерба на предупреждение и ликвидацию последствий от других видов чрезвычайных ситуаций.

Для предупреждения и ликвидации лесных пожаров необходимо создание запаса материальных (денежных) средств. Созданный запас материальных средств, с одной стороны, должен соответствовать величине ущерба от лесных пожаров, с другой – не должен быть избыточным. Таким образом, возникает задача управления запасами, которая в настоящее время может быть эффективно решена с использованием соответствующих моделей управления запасами.

В состав запасов могут входить сырье, материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия, готовая продукция, отходы производства и т.п. Денежные средства также могут рассматриваться как запас, причем цена его хранения определяется темпом инфляции [2, с. 10].

Чтобы определить запас материальных средств для ликвидации последствий лесных пожаров, воспользуемся стохастической моделью управления запасами, у которой спрос является случайной величиной.

Предположим, что спрос r за интервал времени T является случайным и известен его закон распределения $f(r)$. Если спрос ниже уровня запаса s , то приобретение, хранение излишка запаса требует дополнительных затрат c_1 , и, наоборот, если спрос r выше уровня запаса s , то это приводит к штрафу за дефицит c_2 .

В качестве функции суммарных затрат, являющейся в стохастических моделях случайной величиной, рассмотрим ее среднее значение (математическое ожидание)

$$C(s) = c_1 \int_0^s (s-r)f(r)dr + c_2 \int_s^\infty (r-s)f(r)dr. \quad (1)$$

Задача управления запасами состоит в отыскании такого запаса s , при котором математическое ожидание суммарных затрат (1) принимает минимальное значение.

При непрерывном случайном спросе r выражение (1) минимально при значении s_0 , определяемом из уравнения

$$F(s_0) = \frac{c_2}{c_1 + c_2}, \quad (2)$$

где $F(s) = P(r < s)$ – функция (закон) распределения спроса.

Для определения оптимального запаса S_0 материальных средств на предупреждение и ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций необходимо знать закон распределения случайной величины спроса R . Для нашей задачи это фактически сводится к определению закона распределения случайной величины ущерба X от единичной чрезвычайной ситуации.

Для определения закона распределения случайной величины по опытным данным выдвигается гипотеза о виде распределения случайной величины. Выдвинутая гипотеза проверяется при помощи критериев согласия [5, с. 305].

Имеются данные о величине ущерба от лесных пожаров в регионе с 2000 по 2011 год [6]. Расположим статистические данные о величине ущерба по каждому лесному пожару в возрастающем порядке (табл. 1).

Таблица 1 – Ранжированный ряд величины ущерба, тыс. руб.

0,02772	6,7167	26,0766	54,2171	104,6248	220,22	345,5044	837,2496
0,43	8,1872	26,13243	54,684	121,4136	221,375	349,965	890,7552
0,6574	8,2175	29,025	55,0701	130,7544	232,8536	358,6776	946,8984
0,94429	9,24	29,885	55,9944	134,0466	233,80	361,7824	1052,277
1,3793	9,4248	30,03	61,8856	141,2104	235,9224	378,1008	1193,828
1,4328	9,89	30,2148	63,425	141,6697	238,6362	382,2178	1402,69
1,5653	11,7808	30,5664	65,4376	143,4384	250,4425	391,4817	1819,40
2,1672	12,04	30,8976	67,0233	143,7576	252,9848	420,8064	2054,052
2,9583	12,5768	30,95998	69,1096	148,8458	256,224	423,5232	2561,88
3,2891	13,6912	31,4216	69,5772	155,5092	257,0166	468,3624	3787,02
3,655	14,6888	32,9868	69,7872	160,29	271,88	484,1375	3849,40
4,3344	15,05	35,6384	77,2445	163,4056	273,8071	522,06	6990,47
4,3461	15,4489	36,55	77,52727	164,045	275,7344	530,84	7151,57
4,4352	15,8004	37,5712	77,83	170,17	277,0656	531,1792	7512,36
4,4576	17,9025	42,6216	77,9019	181,4424	285,0512	560,5528	9518,60
4,945	19,05556	42,8248	82,5037	184,1362	290,5708	570,7625	24910,86
5,005	20,855	45,28348	83,43	185,724	303,1056	634,508	
5,0944	23,009	47,9136	89,6877	199,7268	304,3208	676,2304	
5,15646	25,1871	50,8011	101,3824	212,8896	308,70	730,0912	
5,4128	25,2175	52,0128	101,6022	219,5424	337,3933	815,3952	

Определим закон распределения случайной величины. Проверку гипотезы о виде закона распределения проведем с помощью критерия χ^2 (Пирсона).

На основе простой статистической совокупности (табл. 1) строим интервальный вариационный ряд. Для этого сначала определим количество интервалов, на которые следует разбить всю выборку, по формуле

$$i = 1 + 3,3 \lg n = 1 + 3,3 \lg 134 \approx 8. \quad (3)$$

Затем найдем величину интервалов интервального ряда, для этого определим максимальное и минимальное значения ($x_{\max} = 1052,2768$; $x_{\min} = 0,02772$) и размах выборки разделим на 8 интервалов:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{i} = \frac{1052,2768 - 0,02772}{8} = 131,53 \approx 132$$

Интервальный ряд примет следующий вид (табл. 2).

Таблица 2 – Интервальный ряд величины ущерба

Интервал $x_i - x_{i+1}$	[0 - 132)	[132 - 264)	[264 - 396)	[396 - 528)	[528 - 660)	[660 - 792)	[792 - 924)	[924 - 1056]
Частота, m_i	83	27	17	5	5	2	3	2

По данным интервального вариационного ряда строим гистограмму:

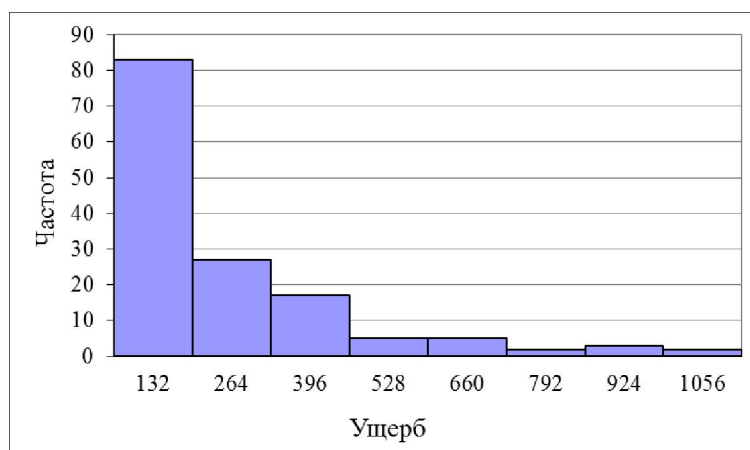


Рисунок 1 – Гистограмма распределения ущерба

По виду гистограммы выдвигаем гипотезу H_0 , что случайная величина ущерба распределена по показательному (экспоненциальному) закону.

Оценим параметр показательного распределения λ , для этого вначале по вариационному ряду вычислим статистическую оценку математического ожидания, затем статистическую оценку параметра λ :

$$\tilde{m}_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = 192,5; \quad \tilde{\lambda} = \frac{1}{\tilde{m}_x} = \frac{1}{192,5} = 0,0052.$$

Для определения опытного значения критерия χ^2 составим расчетную таблицу (табл. 3).

Таблица 3 – Расчетная таблица для определения χ^2

Интервал $x_i - x_{i+1}$	[0 - 132)	[132 - 264)	[264 - 396)	[396 - 528)	[528 - 660)	[660 - 792)	[792 - 924)	[924 - 1056]
P_i	0,496	0,250	0,126	0,063	0,032	0,016	0,008	0,004
nP_i	72,455	36,498	18,385	9,261	4,665	2,350	1,184	0,596

Вероятности попадания случайной величины X в интервалы $x_i - x_{i+1}$ определим по формуле

$$P_i = P(x_i \leq x \leq x_{i+1}) = e^{-\lambda x_i} - e^{-\lambda x_{i+1}}.$$

Например:

$$P_1 = P(0 \leq x \leq 132) = 1 - 0,504 = 0,496,$$

$$P_{21} = P(132 \leq x \leq 264) = 0,504 - 0,254 = 0,250.$$

Аналогично рассчитываем остальные вероятности.

Вычисляем опытное значение критерия

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^r \frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i} = 12,239.$$

По таблице критических точек распределения χ^2 , по уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = r - 2 = 8 - 2 = 6$ определяем критическое значение критерия:

$$\chi_{кр}^2 = 12,592.$$

Так как $\chi_{в}^2 > \chi_{кр}^2$, то нет оснований отвергать гипотезу о том, что распределение случайной величины ущерба подчиняется показательному закону.

Таким образом, случайная величина ущерба от единичного пожара подчиняется показательному (экспоненциальному) закону распределения с функцией плотности

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (4)$$

где λ – параметр распределения.

Функция распределения определяется зависимостью

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (5)$$

Числовые характеристики этого распределения

$$M[X] = \frac{1}{\lambda}, \quad D[X] = \frac{1}{\lambda^2}.$$

Определив закон распределения случайной величины ущерба от единичного лесного пожара, можно по формуле (5) определить оптимальный уровень запаса материальных средств на ликвидацию последствий какого-либо единичного лесного пожара, т.е.

$$1 - e^{-\lambda x} = \frac{c_2}{c_1 + c_2}. \quad (6)$$

Для этого необходимо по несгруппированным опытными данным определить статистическую оценку параметра λ , оценить затраты на хранение запаса c_1 и величину штрафа за дефицит c_2 при недостатке необходимых средств. Решив уравнение (5) относительно x , получим искомую величину.

Для определения запаса материальных средств для ликвидации последствий от лесных пожаров, которые могут произойти в следующем году, необходимо знать закон распределения суммарного ущерба за год. Величина этого ущерба является суммой случайных величин ущерба от лесных пожаров, произошедших за данный год. Таким образом, необходимо определить закон распределения случайной величины Y , являющейся суммой случайных величин X_i , имеющих показательное распределение.

Определение закона распределения суммы независимых случайных величин носит название композиции распределений [5, с. 138]. Необходимо определить закон распределения случайной величины:

$$Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n,$$

где X_i – независимые случайные величины ущерба, имеющие показательное распределение.

Случайная величина

$$Y = \sum_{j=1}^n X_j$$

имеет гамма-распределение с функцией плотности [4, с. 91]:

$$f(y) = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} y^{n-1} e^{-\lambda y}, & y > 0 \\ 0, & y \leq 0. \end{cases} \quad (7)$$

Теперь, зная закон распределения суммарной величины ущерба, можно определить оптимальный запас материальных средств на ликвидацию последствий от лесных пожаров.

Для определения ущерба от лесных пожаров в предстоящем году воспользуемся стохастической моделью управления запасами (1). Решение данного уравнения находится на основе зависимости:

$$F(s_0) = \frac{c_2}{c_1 + c_2}.$$

Определено, что суммарная величина ущерба подчиняется гамма-распределению с функцией плотности (7). Значит, функция распределения гамма-распределения имеет вид

$$F(y) = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} \int_0^y y^{n-1} e^{-\lambda y} dy, & y > 0; \\ 0, & y \leq 0. \end{cases}$$

Затраты на хранение запаса (величина c_1) определим темпом инфляции в следующем году, который согласно Закону Российской Федерации “О бюджете на 2012 год” равен 6,5 %. Сформированный резерв материальных средств не может быть востребован сразу весь для возмещения ущерба, тогда значительная часть его (возможно, и весь резерв) является временно свободным. Эти средства можно “положить” в банк на вклад “до востребования”, проценты по которому начисляются по ставке $(0,5 \div 2) \%$. Таким образом, затраты на хранение запаса материальных средств могут составить $(4,5 \div 6,0) \%$.

При нехватке денежных средств на предупреждение и ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций восполнить их недостаток поможет кредит коммерческого банка. На данный период кредит предоставляется по ставке $(14 \div 20) \%$ годовых. Эту величину примем в качестве штрафа за дефицит (величина c_2).

Таким образом, формулу (3) для гамма-распределения можно записать в виде

$$\frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} \int_0^y y^{n-1} e^{-\lambda y} dy = \frac{c_2}{c_1 + c_2}. \quad (8)$$

В качестве оценок c_1 и c_2 выберем их средние значения: $c_1 = 5,25 \%$, $c_2 = 17 \%$, тогда

$$\frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} \int_0^y y^{n-1} e^{-\lambda y} dy = \frac{17}{5,25 + 17} = 0,764.$$

Статистические оценки параметров гамма-распределения определим по формулам:

$$\tilde{\lambda} = \frac{\bar{y}}{s^2}, \quad \tilde{n} = \left(\frac{\bar{y}}{s} \right)^2,$$

где $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$; $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$; y_i – случайная величина суммарного ущерба.

Вычислим статистические оценки параметров распределения [1, с. 248]:

$$\bar{y} = 2060,626; \quad s = 1862,497;$$

$$\tilde{\lambda} = 0,000594; \quad \tilde{n} = 1,224.$$

Решая уравнение (8) относительно y со статистическими оценками параметров гамма-распределения $\tilde{\lambda} = 0,000594$ и $\tilde{n} = 1,224$, получим величину оптимального запаса материальных средств на ликвидацию последствий предполагаемого ущерба от лесных пожаров.

$$y_{\text{оп}} = 2660,830 \text{ тыс. рублей.}$$

Такие же расчеты можно провести и для других значений (например, максимальных и минимальных) величин c_1 и c_2 .

Оценим соотношение затрат на тушение пожаров с ущербом, для этого составим следующую таблицу (табл. 4).

Таблица 4 – Соотношение затрат на тушение и ущерба от пожаров

Год	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ущерб, тыс. руб.	126,827	2336,728	3167,592	810,051	455,585	2876,528
Затраты на тушение, тыс. руб.	67,562	495,351	739,597	352,05	239,295	1516,9
Соотношение ущерба и затрат	0,533	0,212	0,233	0,435	0,525	0,527
Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ущерб, тыс. руб.	3705,579	1671,122	1976,832	8485,662	71093,174	773,946
Затраты на тушение, тыс. руб.	3069,422	451,65	1237,299	5234,07	31367,682	710,297
Соотношение ущерба и затрат	0,828	0,270	0,626	0,617	0,441	0,918

Анализ полученных результатов (табл. 4) показывает, что затраты на тушение составляют (21,2 – 91,8 %) от величины ущерба. Такой разброс полученных значений позволяет сделать предположение, что величина затрат на тушение определяется, в первую очередь, не величиной ущерба, а наличием денежных средств, выделенных на тушение пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов А.Ю., Мхитарян В.С., Шишов В.Ф. *Статистический анализ данных в MS Excel : Учеб. пособие.* – М. : ИНФРА-М, 2012.
2. Рыжиков Ю.И. *Теория очередей и управление запасами.* – СПб. : Питер, 2001.
3. Черчмен У., Акоф Р., Арноф Л. *Введение в исследование операций : Пер. с англ.* – М. : Наука, 1967.
4. Шишов В.Ф., Мхитарян В.С., Козлов А.Ю. *Прогнозирование запаса средств для ликвидации последствий техногенных аварий // Прикладная эконометрика.* – 2010. – № 3 (19).
5. Шишов В.Ф., Мхитарян В.С., Козлов А.Ю. *Теория вероятностей и математическая статистика : Учебник.* – М. : Академия, 2012.
6. Пензастат. – URL : <http://pnz.gks.ru/>.

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ: НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.35;504

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО ПО СОСТАВУ СПЛАВА ОЛОВО-ЦИНК КАК АЛЬТЕРНАТИВА КАДМИЕВОМУ ПОКРЫТИЮ

© *К.Р. Таранцева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *А.Д. Николотов, ФГУП ФНПЦ «ПО «СТАРТ им. М.В. ПРОЦЕНКО»»
(г. Заречный, Пензенская область, Россия)*

© *Э.Р. Эмурлаева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

ELECTRODEPOSITION OF A STABLE COMPOSITION TIN-ZINC ALLOY AS AN ALTERNATIVE TO CADMIUM-PLATED

© *K.R. Tarantseva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *A.D. Nikolotov, FGUP FNPC «PO «START name M.V. PROTSSENKO»»
(Zarechny, Penza region, Russia)*

© *E.R. Emurlaeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Показана возможность использования редокс-активной добавки – метиленового синего с целью отказа от антиоксидантов в пирофосфатном электролите для нанесения сплава олово-цинк как альтернативы кадмиевому покрытию.

Ключевые слова: сплав олово-цинк, стабилизация, редокс-активное вещество.

The possibility of using redox-active additives – methylene blue to the refusal of the antioxidants in the pyrophosphate electrolyte for the deposition of tin-zinc alloy was shown.

Key words: tin-zinc alloy, the stabilization of the electrolyte, the redox-active substance.

Металлический кадмий и его соединения применяются преимущественно для нанесения защитных покрытий на сталь, производства пигментов, в качестве стабилизатора пластмасс (особенно ПВХ), для изготовления аккумуляторов, сплавов и др.

В настоящее время замена кадмия в качестве защитного покрытия на стали, при производстве пигментов, изготовлении аккумуляторов и в других областях применения ограничено возможна. Одним из путей замены защитного кадмиевого покрытия является использование гальванически осаждённого покрытия олово-цинк, обладающего аналогичной кадмиевому покрытию коррозионной стойкостью, низкой токсичностью используемого электролита и промывных вод, что позволит значительно снизить антропогенное поступление кадмия в окружающую среду [1, 2]. Сплавы сис-

темы олово – цинк в широком диапазоне композиций могут быть нанесены электроосаждением, однако только покрытия с содержанием 20–25 % Zn имеют промышленное значение.

В применяемых пирофосфатных электролитах для осаждения сплава олово – цинк, вследствие окисления Sn(II), происходит изменение состава сплава и, естественно, свойства покрытия (твёрдость, анодный или катодный характер покрытия по отношению стали и др.) [3, 4]. Накопление Sn(IV) в электролите очень часто приводит к ухудшению качества покрытия, необходимости постоянной фильтрации электролита и, как следствие, – увеличению расхода электроэнергии, необходимости утилизации шлама.

Для повышения стабильности электролита в состав электролита вводят антиоксиданты, такие как гидразин и его соли, формалин, аскорбиновая кислота, глюкоза и др. Однако данные антиоксиданты постоянно окисляются в электролите и, следовательно, не решают данную проблему [5, 6].

Ряд органических веществ, таких как рибофлавин, метиленовый синий и другие, способны обратимо восстанавливаться и окисляться. Процессу восстановления органического вещества на поверхности катода предшествует процесс адсорбции данного органического вещества.

Нормальный электродный потенциал восстановления метиленового синего при pH 7 соответствует $E^0 = +0,011$ В. Нормальный электродный потенциал восстановления олова (IV) до олова (II) соответствует $E^0_{\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}} = +0,15$ В. Таким образом, продукты восстановленной формы метиленового синего являются восстановителями по отношению к олову (IV).

Окисленная и восстановленная формы метиленового синего являются поверхностноактивными, но окисленная форма метиленового синего адсорбируется сильнее и вытесняет восстановленную форму из поверхностного слоя катода [7, 8].

Важно отметить, что данная добавка в процессе осаждения сплава не расходуется, так как добавка регенерируется на катоде. Другой особенностью добавки является то, что при ее наличии в электролите покрытия получаются более блестящими, так, если при $C_{\text{M.c}} = 0$ покрытия получаются матовыми с серым оттенком, при введении добавки $C_{\text{M.c}} = 5 \cdot 10^{-5} \dots 2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л покрытия получаются полублестящими, при $C_{\text{M.c}} = 5 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л покрытия блестящие с синеватым оттенком. При отсутствии добавки в электролите по мере проработки от 0 до 14 А·ч/л содержание олова в сплаве уменьшается с 60 до 34,5 %, а в присутствии добавки с $C_{\text{M.c}} = 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л содержание олова в сплаве незначительно увеличивается.

В данной работе исследовано влияние концентрации солей цинка, катодной плотности тока, температуры и pH электролита на состав сплава и на электрохимическое поведение сплава по отношению к стали.

Методика эксперимента

Пирофосфатные электролиты для получения сплава олово-цинк с содержанием олова 70–80 % готовили из солей хлорида олова двухводного (чда), оксида цинка (чда), пирофосфата натрия десятиводного (чда), желатина.

тина пищевого, редокс-активное вещество – фенотиазиновый краситель метиленовый синий (М.м 373,9, чда).

В растворе соляной кислоты растворяли рассчитанные количества ZnO , $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, затем к полученному раствору добавляли раствор пиррофосфата натрия, содержащий 57 г $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, необходимого для образования осадков пиррофосфата олова и пиррофосфата цинка. С образовавшегося осадка сливали раствор декантацией. Осадок промывали, а затем растворяли в растворе, содержащем 88 г пиррофосфата натрия. Затем в электролит вводили раствор желатина. Для исследования влияния концентрации редокс-активного вещества последний вводили в электролит в виде 0,01 н раствора. Электролиз вели в двух последовательно соединенных ячейках (контрольной – не содержащей редокс-активного вещества, экспериментальной – содержащей редокс-активное вещество) при катодной плотности тока 1,5 А/дм², комнатной температуре с использованием отдельных оловянных и цинковых анодов с соотношением площадей поверхностей анодов и катодного образца 2:1. Для исследования влияния концентрации ионов цинка, катодной плотности тока, температуры, pH электролита на состав сплава электролиз вели в ячейке объемом 250 мл.

В качестве катодов использовали образцы из медной фольги площадью 15 см². Для определения состава сплава осадок получали на медной фольге, далее осадок растворяли в растворе соляной кислоты (1:1) при нагревании. Содержание олова в сплаве, а также концентрацию ионов олова (II) в электролите определяли с помощью йодометрического титрования. Титрование проводили с помощью микробюретки (объемом 2 мл). Исходный стандартный 0,1 н раствор йода непосредственно перед титрованием разбавляли в 10 раз дистиллированной водой.

Олово (IV) в электролите определяли методом восстановления. Для этого аликвоту электролита переносили в коническую колбу с пробкой и газоотводной трубкой, соединенной с аппаратом Киппа, заряженным на получение O_2 , вводили концентрированный раствор соляной кислоты и вносили 5–6 свинцовых пластин. Смесь нагревали до слабого кипения и кипятили 40–45 минут в среде CO_2 . По охлаждении раствор титровали 0,01 н раствором йода. По разности объемов 0,01 н раствора йода, пошедшего на титрование аликвоты исходного электролита и электролита, в котором олово (IV) восстановлено до олова (II) свинцом, рассчитывали содержание олова (IV) в электролите.

Экспериментальная часть

На состав сплава и выход по току оказывают влияние концентрация ионов металлов, разряжающихся на катоде, плотность тока, температура и pH электролита.

Согласно полученным результатам (табл. 1), существенное влияние на состав сплава оказывает концентрация цинка в электролите. При увеличении концентрации цинка в электролите с 0,025 до 0,1 моль/л содержание олова в сплаве уменьшается с 86 до 69 %, выход по току сплава увеличивается с 64 до 71 %, что связано с уменьшением перенапряжения водорода на

сплаве [6]. В исследованном диапазоне концентраций ионов цинка и олова на катоде осаждаются полублестящие покрытия сплавом.

Математическая зависимость содержания олова в сплаве (y) от концентрации цинка в электролите (x) подчиняется логарифмическому и экспоненциальному уравнениям с высокими коэффициентами корреляции:

$$y = -12,27 \lg x + 95, \quad R = 0,99;$$

$$y = 92,02e^{-0,03x}, \quad R = 0,99.$$

Таблица 1 – Зависимость состава сплава от концентрации цинка в электролите

$C_{\text{цно}}, \text{ г/л}$	2	4	6	8
$\text{щ}_{\text{сп}}, \%$	86	79	73	69
$\text{ВТ}, \%$	64	68	70	71
$\text{щ}_{\text{кн}}, \%$	14	21	27	31

Плотность тока влияет на состав сплава и выход по току. Согласно полученным данным (табл. 2) с увеличением плотности тока от 1 до 2 А/дм² содержание олова в сплаве уменьшается с 79 до 60 %, выход по току сплава также уменьшается с 74 до 62 %, что связано со смещением потенциала катода в сторону более отрицательных значений. В заданном диапазоне плотностей тока осаждаются полублестящие покрытия сплавом. При плотностях тока выше 2,5 А/дм² осаждаются матовые покрытия.

Математическая зависимость содержания олова в сплаве (y) от катодной плотности тока (x) также подчиняется логарифмическому и экспоненциальному уравнениям с высокими коэффициентами корреляции:

$$y = -17,35 \lg x + 79,01, \quad R = 0,99;$$

$$y = 89,22e^{-0,1367x}, \quad R = 0,98.$$

Таблица 2 – Зависимость состав сплава и выхода по току сплава от плотности тока

$I_{\text{к}}, \text{ А/дм}^2$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$\text{щ}_{\text{сп}}, \%$	79	72	67	63	60
$\text{ВТ}, \%$	74	69	66	64	62

Исследования показали также (табл. 3), что с повышением температуры электролита с 22 до 52°С содержание олова в сплаве увеличивается с 65 до 78 %, выход по току сплава также увеличивается с 63 до 82 %, что связано со смещением потенциала катода в сторону более положительных значений. В интервале температур 20–40°С осаждаются полублестящие покрытия сплавом, а при более высокой температуре – матовые покрытия.

Математическая зависимость содержания олова в сплаве (y) от температуры электролита (x) подчиняется логарифмическому и экспоненциальному уравнениям:

$$y = 14,01 \lg x + 23,09, R = 0,94;$$

$$y = 59,72 e^{0,005x}, R = 0,87.$$

Таблица 3 – Зависимость состава электролита, состава сплава и выхода по току сплава от температуры

t, °C	22	27	32	42	52
C Sn ²⁺ , моль/л	0,150	0,151	0,150	0,152	0,150
C Sn ⁴⁺ , моль/л	0	0	0	0	0
Ц _{сп} , %	65	70	73	75	78
ВТ, %	63	65	70	77	82

При увеличении pH с 7,5 до 9,0 содержание олова в сплаве увеличивается с 67 до 75 % (табл. 4), что связано с упрочнением комплексов цинка. Выход по току уменьшается с 76 до 70 %, что связано с уменьшением перенапряжения водорода на сплаве. В интервале pH 8 – 9,5 осаждаются полублестящие покрытия сплавом, а при pH < 7,5 осаждаются темные покрытия.

Таблица 4 – Зависимость состава сплава, выход по току сплава от pH

pH	7,5	8,0	8,5	9,0
ц _{сп} , %	67	72	73	75
ВТ, %	76	72	70	70

Математическая зависимость содержания олова в сплаве (y) от pH электролита (x) подчиняется логарифмическому и экспоненциальному уравнениям:

$$y = 41,42 \lg x - 15,56, R = 0,91;$$

$$y = 40,09 e^{0,07x}, R = 0,89.$$

Применение двух уравнений позволяет исключить случайную ошибку при автоматизированном управлении технологическим процессом электроосаждения сплава олово-цинк.

Таким образом, при применении редокс-активной добавки (метилновый синий) не происходит окисление двухвалентного олова до четырехвалентного, что позволяет стабилизировать состав электролита по ионам олова (II) и осаждавать полублестящие покрытия сплавом постоянного состава как альтернативного по свойствам кадмиевому покрытию (твердость, коррозионная стойкость и др.). Это позволяет заменить токсичный электролит кадмирования на электролит для осаждения сплава олово – цинк с низкой токсичностью и уменьшить нагрузку на окружающую среду.

Полученные математические зависимости содержания олова в сплаве от концентрации солей цинка, катодной плотности тока, температуры и pH электролита позволяют учитывать влияние указанных факторов на состав сплава и основные технологические параметры процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таранцева К.Р., Николотов А.Д. Альтернативный ресурсосберегающий метод стабилизации ионов Sn(II) в пирофосфатном электролите // *Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского*. – 2011. – № 25. – С. 601–604.
2. Таранцева К.Р., Красная Е.Г., Коростелева А.В., Лебедев Е.Л. Анализ техногенного воздействия промышленных предприятий г. Пензы на гидросферу // *Экология и промышленность России*. – 2010. – № 12. – С. 40–45.
3. Ваграмян Т.А., Одеосама Б.Н. Некоторые особенности процесса электроосаждения сплава цинк-олово // *Замена и снижение расходов дефицитных металлов в гальванотехнике : Материалы семинара*. – М., 1983. – С. 116–119.
4. Кудрявцев Н.Т. Электролитическое покрытие металлами. – М. : Химия, 1979. – 352 с.
5. Ларин И.О., Максименко С.А., Тютина К.М., Кудрявцев В.Н. Влияние некоторых органических веществ на процесс окисления олова в кислых электролитах для осаждения олова и его сплавов. *Прогрессивная технология и вопросы экологии в гальванотехнике и производстве печатных плат : Материалы конференции*. – Пенза, 1996. – С. 6.
6. *Электросинтез и механизм органических реакций* // “Прогресс электрохимии органических соединений” / Под ред. академика А.Н. Фрумкина и к.х.н. Л.Г. Феоктистова. – М. : Наука, 1973.
7. Гейровский Я., Кута Я. *Основы полярографии* : Пер. с чешского / Под ред. д.х.н. Майрановского С.Г. – М. : Мир, 1965. – 560 с.
8. Лурье Ю.Ю. *Справочник по аналитической химии* : Справ. изд. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1989. – 448 с.

УДК 625.142.2

РЕЦИКЛИНГ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

© Н.И. Зубрев, Московский государственный университет путей
сообщения (МИИТ) (г. Москва, Россия)

© М.В. Устинова, Московский государственный университет путей
сообщения (МИИТ) (г. Москва, Россия)

RECYCLING OF ASHES FROM THE INCINERATION OF WASTE WOODEN TIES

© N.I. Zubrev, Candidate of Technical Sciences, Professor of Moscow State
University of Means of Communication (Moscow, Russia)

© M.V. Ustinova, Candidate of Technical Sciences, Moscow State University of
Means of Communication (Moscow, Russia)

Определен химический и минералогический состав золы от сжигания отработанных деревянных шпал. Разработана технология приготовления цементно-бентонитового композитного раствора с заменой 20 % цемента золой, которая позволила повысить качество струйной цементации за счет улучшенной проницаемости раствора в структуру грунта.

Ключевые слова: отработанная деревянная шпала, зола, цемент, композитный раствор, струйная цементация.

РЕЦИКЛИНГ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ...

Chemical and mineralogical composition was determined from the incineration of waste wooden ties. It was developed technology of the preparation of cement-smectite composite solution with the replacement of 20% of cement by ash, which allowed to improve the quality of jet carbonization due to improved permeability of the solution in the structure of ground.

Key words: waste wooden tie, ash, cement, composite solution, jet carbonization.

E-mail: nzubrev@mail.ru, mellstar@mail.ru

В России ежегодно образуются миллионы тонн отходов производства и потребления, которые в основном размещаются на почти переполненных полигонах. С целью уменьшения объемов отходов используют сжигание, которое осуществляют в термических установках. При сжигании в виде вторичного отхода образуется шлак и зола уноса. Установлено, что наибольшую опасность для окружающей среды представляет собой зола, так как она в процессе сжигания сорбирует загрязняющие вещества, в том числе тяжелые металлы. В зависимости от содержания загрязняющих веществ зола уноса может относиться к различному классу опасности по отношению к окружающей среде и здоровью человека [1].

Ежегодно в ОАО РЖД выводится из производственного использования около 5,5 миллионов штук старогодных деревянных шпал, непригодных к повторной укладке в путь. В настоящее время работает производство по сжиганию шпал на станции Тагул Восточно-Сибирской железной дороги. При их сжигании образуется летучая зола, относящаяся к четвертому классу опасности.

Экологической стратегией ОАО РЖД предусматривается вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве источников сырья и материалов. К таким отходам могут быть отнесены золы от сжигания отработанных деревянных шпал [1].

Известно применение золы от сжигания угля в качестве частичной замены цемента при использовании в тампонажных растворах для заблочного и затрубного пространства коллекторных тоннелей. Однако их применение носит ограниченный характер, обусловленный непостоянным составом золы от сжигания угля [2].

Цемент является основной составляющей в композитных системах, применяемых в транспортном строительстве при закреплении грунтов. Наряду с цементом в состав входят бентонит и жидкое стекло. Одним из путей утилизации золы может быть использование ее в качестве замены цемента в композитной системе.

Химический состав золы определяли рентгенофлуоресцентным методом. Концентрация металлов составила, соответственно, ppm: As – 15,125; Ni – 53,29; Si – 326,9; Sn – 7863,5; Fe – 63837,5; Co – 225,0; Mn – 779,77; W – 48,221; Mo – 95,821. Расчетным методом установлено, что зола относится к отходам четвертого класса опасности для окружающей среды.

Зола от сжигания отработанных деревянных шпал проанализирована также на просвечивающем электронном микроскопе Tescan-12 Филипс (Голландия). Увеличение 500 тыс., разрешение 1,2 Е, с микрозондовой приставкой и микродифракцией.

По данным микроанализа зола представляет собой сплав, основой которого является железо. В его состав входит, соответственно, (масс. %)

38,58 железа, 41,78 кобальта и меди 17,42, а содержание других элементов не превышает единицы.

Установлено, что зола от сжигания деревянных шпал представляет агрегат частиц сплава, состоящего из железа, кобальта и меди в виде кубиков, погруженных в тонкодисперсную массу вещества, чередующихся с чешуйчатыми обособлениями слоистого алюмосиликата-каолинита, монтмориллонита, гидрослюда, зерен кварца, кальцита и других минералов, не несущих основную нагрузку в золе по содержанию микроминеральных фаз.

Исследование структурообразования в композитных растворах проводили путем замены цемента различными количествами золы при хранении.

В работе использован бентонит марки П2Т₂А Зырянского месторождения и цемент марки М 400. Контрольный образец готовили замачиванием на сутки 5 % суспензии бентонита, затем в нее при перемешивании добавляли цемент и жидкое стекло. В композитных системах заменяли от 2 до 50 % цемента золой от сжигания шпал (табл. 1).

Таблица 1 – Состав композитной смеси

№ п/п	Цемент, %	Зола, % к цементу
1	100	-
2	98	2
3	95	5
4	90	10
5	85	15
6	80	20
7	74	26
8	70	30
9	66	34
10	50	50

Во всех образцах определяли прочность на приборе Ребиндера – Гордзовского и на гидравлическом прессе ИП-100 через 7, 14 и 28 суток.

Структурообразование композитного раствора с различной концентрацией золы через 28 суток хранения приведено на рисунке 1.

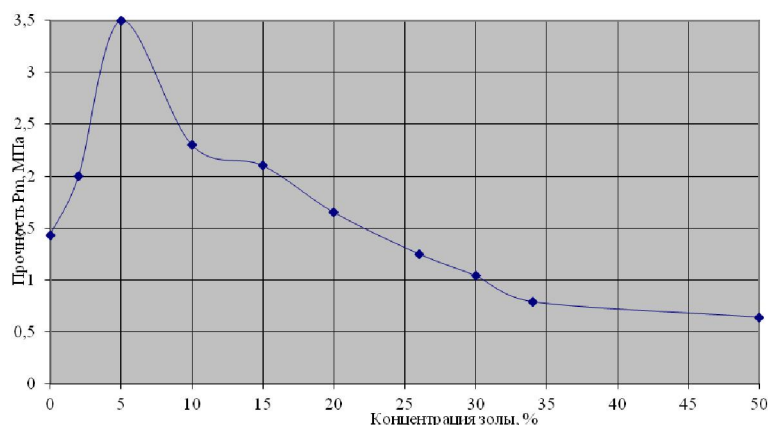


Рисунок 1 – Прочность композитных растворов через двадцать восемь суток после приготовления от содержания золы в смеси

С увеличением содержания золы сначала происходит рост прочности, а затем ее снижение. Прочность системы возрастает при замене 5 % цемента золой на 30 % по сравнению с контрольным образцом. Микрофотография контрольного образца и с заменой 5 % цемента золой приведена на рисунках 2 и 3.

Большие пустоты и разрывы в структуре цементного камня видны на рисунке 2, а при введении золы происходит их заполнение (рис. 3), что приводит к повышению прочности композитной системы.

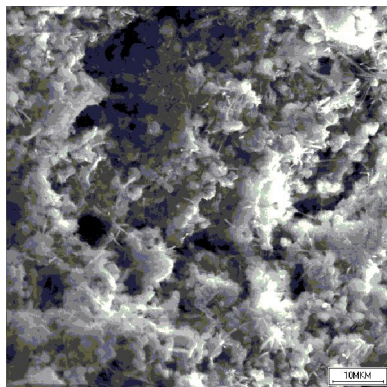


Рисунок 2 – Микрофотография композитной системы без добавки золы

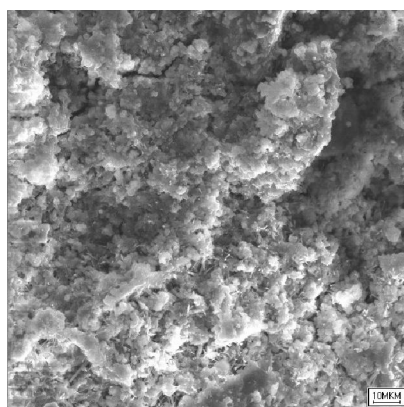


Рисунок 3 – Микрофотография композитной системы с заменой 5 % цемента золой

При замене 20 % цемента золой прочность композитной системы снижается и достигает уровня контрольного образца.

Фитотоксичность и агроэкологическую оценку композитной системы, содержащей золу, определяли по изменению зеленой массы овса и ярового ячменя полной зрелости. Исследования проводили в вегетационной лабораторной установке с частично контролируемыми факторами среды: с помощью системы кондиционирования воздуха круглосуточно поддерживали температурно-световой и влажностный режимы. По результатам анализа не выявлено токсического действия золы в новом композитном растворе, что подтверждает его экологическую безопасность.

Производственные испытания нового композитного раствора были проведены при строительстве Казанского метрополитена. При проведении работ по сооружению людских соединительных сбоек (ЛСС) на перегоне между станциями “Кремлевская” и “Козья слобода” Казанского метрополитена был использован композитный раствор с 20 % замены цемента золой от сжигания шпал. По результатам установлено, что разработанная рецептура композитного раствора позволила сэкономить 1171,8 т цемента и получить экономии в сумме 3 млн. 500 тыс. руб., а также улучшить качество струйной цементации за счет улучшенной проницаемости раствора в структуру грунта.

Таким образом, доказана целесообразность практического применения композитных растворов при строительстве и эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегические направления научно-технического развития ОАО “Российские железные дороги” на период до 2015 г. (“Белая книга” ОАО “РЖД”).
2. Гонопольский А.М., Дыган М.М., Тимофеева А.А. Некоторые физико-химические свойства золошлаковых отходов мусоросжигательных заводов // *Экология и промышленность России*. – 2008. – июль. – С. 36–39.
3. Ляпидевский Б.В., Никитин А.В., Родина Г.П., Бадамин С.О. Инъекционные составы для заблочного и затрубного пространства коллекторных тоннелей // *Наука – Московскому строительству : Сборник технической информации*. – 2008. – № 2.
4. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления. СП.2.1.7.1386-03.

УДК 681.31-181.48

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ

© И.А. Прошин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© П.В. Сюлин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF MULTICOMPONENT SYSTEMS

© I.A. Proshin, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© P.V. Siulin, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье для оценки экологического совершенства многокомпонентных систем предложен коэффициент экологической безопасности и получены выражения для его вычисления. Приведены примеры исследования с использованием введенного коэффициента питьевой воды. Разработана методика определения степени экологичности многокомпонентных систем, позволяющая проводить комплексный анализ степени экологического совершенства

многокомпонентных систем по вектору экологической безопасности, лепестковой диаграмме и усреднённому коэффициенту экологической безопасности, оценивать относительный запас по экологичности.

Ключевые слова: методика, модель, экологическая безопасность, экосистема.

In an article for the assessment of environmental excellence multicomponent systems proposed rate of environmental safety and expressions for its evaluation. Examples of studies using inputted coefficient drinking water. The technique of determining the degree of environmental friendliness of multi-component systems, which allows a comprehensive analysis of the degree of environmental excellence multicomponent systems by the vector of environmental safety, radar chart, and the median ratio of environmental safety, to evaluate the relative margin sustainability.

Key words: methodology, model, environment, ecosystem.

E-mail: proshin.Ivan@inbox.ru

Решение проблемы обеспечения экологической безопасности многокомпонентных систем, экологическое состояние которых определяется множеством разнородных показателей, возможно только на основе единых методов и показателей количественной оценки состояния и качества главных определяющих компонент и экосистемы в целом с использованием современных информационных технологий и методов исследования [1–4], научно-методических принципов организации систем мониторинга и контроля качества окружающей среды.

Уровень экологического состояния окружающей среды, объектов промышленного производства и продукции, выпускаемой предприятиями, определяется множеством факторов, а его оценка проводится на основе множества показателей, задаваемых предельно-допустимыми нормативами.

Так, для оценки экологического состояния жизненно-необходимых частей окружающей среды: воздуха, питьевой воды, почвы, применяются десятки разнородных показателей, что вызывает сложности и противоречия при создании систем мониторинга и управления экосистем, обуславливает необходимость применения для наблюдения, контроля и экологического мониторинга множества различных алгоритмов, приёмов, программ и методов.

Цель настоящей работы – разработка единой количественной оценки экологической безопасности, позволяющей проводить сравнительный анализ, синтез и проектирование разнородных экосистем.

Пусть экологическое состояние объекта исследования задано множеством разнотипных показателей x_i , $i = \overline{1, n}$.

Среди множества показателей выделим показатели экологической безопасности системы, задаваемые:

- 1) предельно-допустимыми значениями $x_{п.-д}$, ограничивающими их наибольшие значения $x_i \leq x_{п.-д}$, $x_i \in [0, c_i]$;
- 2) предельно-допустимыми значениями $x_{п.-д}$, ограничивающими их наибольшие значения $x_i \leq x_{п.-д}$, $x_i \in [0, c_i]$, и рекомендуемым значением x_0 ;

3) предельно-допустимыми значениями $x_{п.-д}$, ограничивающими их наименьшие значения $x_i \geq x_{п.-д}$, $x_i \in [c_i, x_{\max}]$;

4) предельно-допустимыми значениями, ограничивающими их наименьшие и наибольшие значения $x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max}$, $x_i \in [a_i, b_i]$.

Введём для оценки степени экологической безопасности относительные безразмерные величины z_i , определяющие степень экологического запаса исследуемого объекта относительно предельно-допустимого значения $x_{п.-д}$ по каждому i -му показателю:

$$z_i = \frac{x_{п.-д} - x_i}{x_{п.-д}}.$$

Примем за максимальный относительный запас экологической безопасности значение показателя, равное единице $z_i = 1$, соответствующее экологически идеальной системе.

Для систем, задаваемых экологическими показателями на интервале $x_i \in [0, c_i]$, безразмерные величины z_i , по сути, представляют собой для соответствующих компонент коэффициенты экологической безопасности (КЭБ).

$$z_i = \frac{x_{п.-д} - x_i}{x_{п.-д}}. \quad (1)$$

Тогда для показателя экологического состояния системы, соответствующего предельно-допустимому значению $x_i = x_{п.-д} = c_i$ и задаваемому на интервале $x_i \in [0, c_i]$, коэффициент экологической безопасности по данной компоненте, как это следует из (1), примет нулевое значение.

$$z_i = \frac{x_{п.-д} - x_{п.-д}}{x_{п.-д}} = 0.$$

Для показателей $x_i \leq x_{п.-д} = c_i$, задаваемых на интервале $x_i \in [0, c_i]$, коэффициент экологической безопасности по данной компоненте принимает отрицательные значения (рис. 1). На рисунке 1 в качестве примера приведена зависимость КЭБ для показателя, задаваемого на интервале $x_i \in [0, c_i]$ с предельно-допустимым значением c_i , равным девяти ($c_i = 9$).

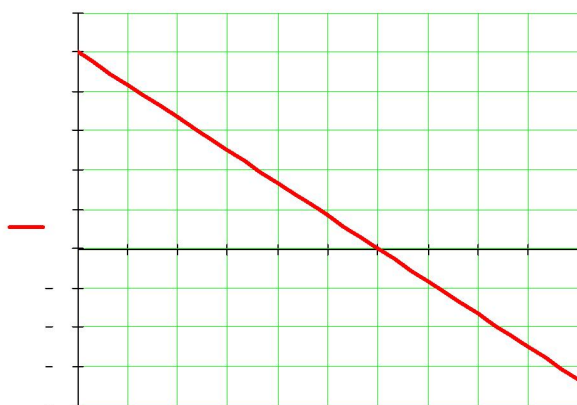


Рисунок 1 – Коэффициент экологической безопасности по показателям, задаваемым интервалом $x_i \in [0, c_i]$

Таким образом, экологическое совершенство системы по показателям, задаваемым интервалом $x_i \in [0, c_i]$, определяется коэффициентом экологической безопасности z_i , отражающим запас экологической безопасности системы по данной группе показателей и принимающим для экологически безопасных систем положительные значения на интервале $z_i \in [0, 1]$ (рис. 1). Максимальное значение КЭБ соответствует идеальной системе и равно единице $z_i = 1$. Отрицательные значения КЭБ соответствуют экологически опасной по данному показателю системе.

Коэффициент экологической безопасности многокомпонентной системы по группе показателей с предельно-допустимыми значениями, ограничивающими их наименьшие и наибольшие значения $x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max}$ ($x_i \in [a_i, b_i]$), зададим моделью

$$z_i = \gamma - \left| \delta \left(d_{1i} - d_{0i} \right) - \nu \left(d_{2i} - 1 + d_{0i} \right) \right|. \quad (2)$$

Относительные переменные d_{1i} и d_{2i} в (2) характеризуют отклонения текущего значения показателя x_i от предельных минимально a_i и максимально b_i допустимых значений

$$d_{1i} = \frac{x_i - a_i}{b_i - a_i}; \quad d_{2i} = \frac{b_i - x_i}{b_i - a_i}.$$

Составляющая d_{0i} задаёт в относительном виде предпочтительное значение показателя x_{0i}

$$d_{0i} = \frac{x_{0i} - a_i}{b_i - a_i}.$$

Идеальной системе соответствует КЭБ, равный единице, поэтому с учётом того, что значение второго слагаемого в модели (2) всегда положительно и его минимальное значение равно нулю, значение коэффициента Γ принимает единичное значение $\Gamma = 1$, а модель (2) преобразуется к виду

$$z_i = 1 - \left| \bar{b}(d_{1i} - d_{0i}) - b(d_{2i} - 1 + d_{0i}) \right| \quad (3)$$

При $x_i = a_i$

$$d_{1i} = \frac{a_i - a_i}{b_i - a_i} = 0; \quad d_{2i} = \frac{b_i - a_i}{b_i - a_i} = 1$$

и $z_i = 0$, а из (3) следует

$$\begin{aligned} 0 &= 1 - \left| -\bar{b}d_{0i} - b(1 - 1 + d_{0i}) \right| \Rightarrow 0 = 1 - \left| -\bar{b}d_{0i} - bd_{0i} \right| \Rightarrow \\ &\Rightarrow (\bar{b} + b)d_{0i} = 1. \end{aligned}$$

При $x_i = b_i$

$$d_{1i} = \frac{b_i - a_i}{b_i - a_i} = 1; \quad d_{2i} = \frac{b_i - b_i}{b_i - a_i} = 0$$

и $z_i = 0$, поэтому

$$\begin{aligned} 0 &= 1 - \left| \bar{b}(1 - d_{0i}) - b(0 - 1 + d_{0i}) \right| \Rightarrow \\ &\Rightarrow 0 = 1 - \left| \bar{b}(1 - d_{0i}) - b(1 - d_{0i}) \right| \Rightarrow (\bar{b} - b)(1 - d_{0i}) = 1. \end{aligned}$$

Объединяем полученные уравнения в систему

$$\begin{cases} \bar{b} + b = \frac{1}{d_{0i}}; \\ \bar{b} - b = \frac{1}{1 - d_{0i}} \end{cases}$$

и получаем выражения для коэффициентов $\bar{b}$ и b :

$$\begin{cases} \bar{b} = \frac{1}{2d_{0i}(1 - d_{0i})}; \\ b = \frac{1 - 2d_{0i}}{2d_{0i}(1 - d_{0i})}. \end{cases}$$

Подставив в (3) значения полученных коэффициентов, получим модель КЭБ компонент системы в виде

$$z_i = 1 - \frac{\left| (d_{1i} - d_{0i}) - (1 - 2d_{0i}) \right| (d_{2i} - 1 + d_{0i})}{2d_{0i}(1 - d_{0i})}. \quad (4)$$

Из анализа модели (4) выводим следующее. Значениям показателей $x_i = a_i$ соответствуют $d_{1i} = 0$, $d_{2i} = 1$. При $x_i = b_i$ относительные значения отклонений экологического показателя от границ диапазона предельно-допустимых значений равны $d_{1i} = 1$, $d_{2i} = 0$. Коэффициент экологической безопасности для обоих случаев равен нулю ($z_i = 0$), что соответствует нахождению этой системы на границе перехода от области экологической безопасности к экологически опасной области с отрицательными значениями КЭБ ($x_i < a_i$ или $x_i > b_i$, $z_i < 0$). Значению показателя $x_i = x_{0i}$ соответствует идеальная система по этой компоненте с КЭБ, равным единице ($z_i = 1$). Для компоненты, представленной на рисунке 2 в качестве примера, параметры, определяющие границы предельно-допустимых областей, заданы значениями $a_i = 2$, $b_i = 10$, $x_{0i} = 6$. Коэффициент экологической безопасности при этом принимает значения $z_i = 0$, $z_i = 0$, $z_i = 1$, соответственно.

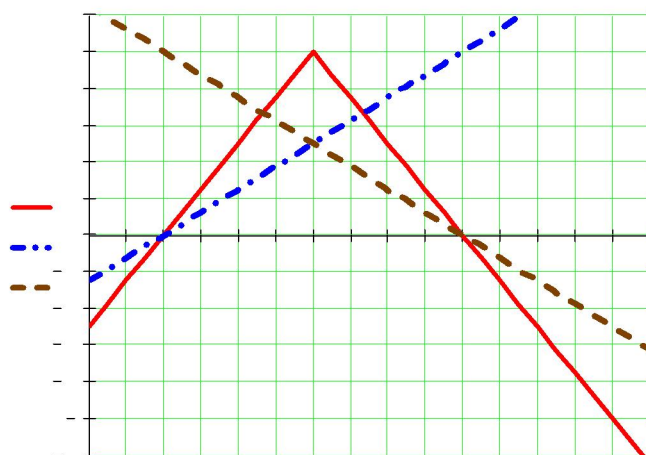
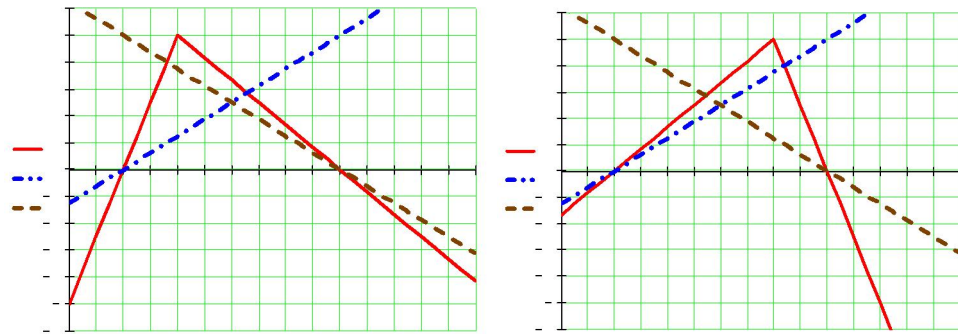


Рисунок 2 – Коэффициент экологической безопасности по показателям, задаваемым интервалом $x_i \in [a_i, b_i]$ для $a_i = 2$, $b_i = 10$, $x_{0i} = 6$

На рисунке 3 в качестве примера приведены зависимости КЭБ для значений $a_i = 2$, $b_i = 10$ с предпочтительным значением $x_{0i} = 4$ (а) и $x_{0i} = 8$ (б).



а)

б)

Рисунок 3 – Коэффициент экологической безопасности по показателям, задаваемым интервалом $x_i \in [a_i, b_i]$ для $a_i = 2$, $b_i = 10$, а) $x_{0i} = 4$,

б) $x_{0i} = 8$

Для оценки степени экологического совершенства системы в целом введём коэффициент экологической безопасности в виде взвешенной среднеквадратической оценки

$$z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{w_i z_i^2}{|z_i|}}{\sum_{i=1}^{i=n} w_i}}. \quad (5)$$

В таблице 1 приведены результаты расчёта КЭБ по отдельным компонентам и в целом для системы, экологическое состояние которой оценивается десятью показателями $n = 10$, а на рисунке 4 показана лепестковая диаграмма КЭБ для этой системы.

Из анализа диаграммы КЭБ выводим следующее. Внешний контур диаграммы соответствует экологически идеальной системе с КЭБ, равным единице ($z_i = 1$). Внутренний контур, задаваемый КЭБ, равным нулю ($z_i = 0$), соответствует системе с предельно-допустимыми значениями показателей. Соответственно, внутренняя область диаграммы с положительными значениями КЭБ ($z_i \in [0, 1]$) соответствует экологически безопасным системам, а с отрицательными значениями КЭБ ($z_i \in [-\infty, 0]$) – экологически опасным системам.

Таблица 1 – Исходные данные экологических показателей и результаты расчёта коэффициентов экологической безопасности

Показатель	Результат исследования	Норматив	КЭБ
1	0	[0, 2]	$z_1 = 1,0$
2	1	[0, 2]	$z_2 = 0,5$
3	20	[0, 20]	$z_3 = 0$
4	12	[0, 15]	$z_4 = 0,2$
5	6	[0, 5]	$z_5 = -0,2$
6	3	[0, 10]	$z_6 = 0,7$
7	6,75	[0, 45]	$z_7 = 0,85$
8	13,5	[0, 10]	$z_8 = -0,35$
9	200	[0, 1000]	$z_9 = 0,8$
10	6,6	[6, 9]	$z_{10} = 0,4$
$z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{ z_i } z_i^2}{n}}$	$\eta = 0,589$		

Коэффициент экологической безопасности для всей системы в целом с показателями, заданными в таблице 1, равен $z = 0,589$. Однако по пятому ($z_5 < 0$) и восьмому ($z_8 < 0$) показателям эта система относится к экологически опасным, так как значения КЭБ для этих показателей отрицательны. По первому показателю КЭБ равен единице ($z_1 = 1$), что соответствует идеальной системе по этому показателю, а по третьей компоненте показатель равен нулю ($z_3 = 0$), что соответствует случаю предельно-допустимой по экологической безопасности системе.

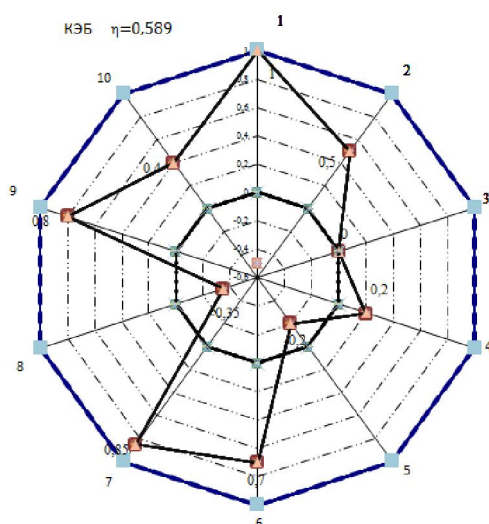


Рисунок 4 – Лепестковая диаграмма коэффициента экологической безопасности системы с показателями, заданными в таблице 1

В таблице 2 и таблице 3 для примера приведены исходные данные и результаты расчёта КЭБ для питьевой воды “Островская”, “Аква чистая”, “Шишкин Лес”, “Ключ здоровья”, а на рисунке 5 для этих объектов показаны лепестковые диаграммы КЭБ.

**Таблица 2 – Химический состав воды высшей категории
“Островская”**

№	Определяемые показатели	Результаты исследований	Гигиенический норматив	Единица измерения	НД на методы исследования
1	2	3	4	5	6
1	Запах 20 °С, 60 °С	0	2	балл	ГОСТ 3351-74
2	Привкус	0	2	балл	ГОСТ 3351-74
3	Цветность	2,1	20	градус	ГОСТ 3351-74
4	Мутность	Не обн.	1,5	мг/л	ГОСТ 3351-74
5	Водородный показатель	7,12	6 – 9	ед. рН	ПНДФ 14.1:2:3:4.121
6	Остатки свободного хлора	0	0,3 – 0,5	мг/л	ГОСТ 18190-72
7	Окисл. перманган	0,29	5,0	мг/л	ПНДФ 14.1:2:3:4.154
8	Аммиак /по азоту	Не обн.	1,5	мг/л	ГОСТ 4192-82
9	Нитриты	0,112	3,3	мг/л	ГОСТ 4192-82
10	Нитраты	4,16	45,0	мг/л	ГОСТ 18826-73
11	Жесткость общая	7,92	7,0	мг-экв/л	ГОСТ Р 52407-2005
12	Сухой остаток	984,0	1000	мг/л	ГОСТ 18164-72

Таблица 3 – Результаты расчёта коэффициента экологической безопасности питьевой воды

№	Определяемые показатели	Результаты исследований питьевой воды							
		Островская		Аква чистая		Шишкин Лес		Ключ здоровья	
		X_i	3_i	X_i	3_i	X_i	3_i	X_i	3_i
1	2	3	4	5	6	6	7	8	9
1	Запах 20 °С, 60 °С	0	1	0	1	0	1	0	1
2	Привкус	0	1	0	1	0	1	0	1
3	Цветность	2,1	0,895	19,3	0,035	5,0	0,75	3	0,85
4	Мутность	0	1	0,58	0,613	0,1	0,933	0,4	0,733
5	Водородный показатель	7,12	0,747	6,5	0,333	7,48	0,987	7,6	0,933
6	Остатки свободного хлора	0		0		0		0	
7	Окисл. перманган	0,29	0,942	2,6	0,48	0,5	0,9	0,8	0,84
8	Аммиак /по азоту	Не обн.		Не обн.		Не обн.		Не обн.	
9	Нитриты	0,112	0,966	0,019	0,994	0,003	0,999	0,037	0,989
10	Нитраты	4,16	0,908	2,0	0,956	4,38	0,903	0,1	0,998
11	Жесткость общая	7,92	–0,131	2,5	0,643	0,1	0,986	0,3	0,957
12	Сухой остаток	984,0	0,016	182,3	0,818	492,0	0,508	197	0,803
13	КЭБ	$3=0,836$		$3=0,755$		$3=0,909$		$3=0,915$	

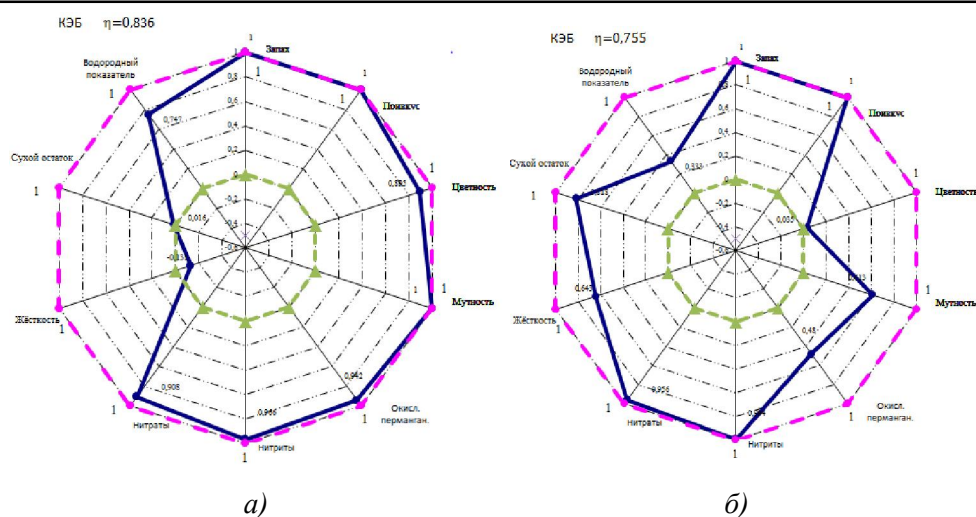


Рисунок 5 – Лепестковая диаграмма коэффициента экологической безопасности питьевой воды: а) "Островская", б) "Аква чистая"

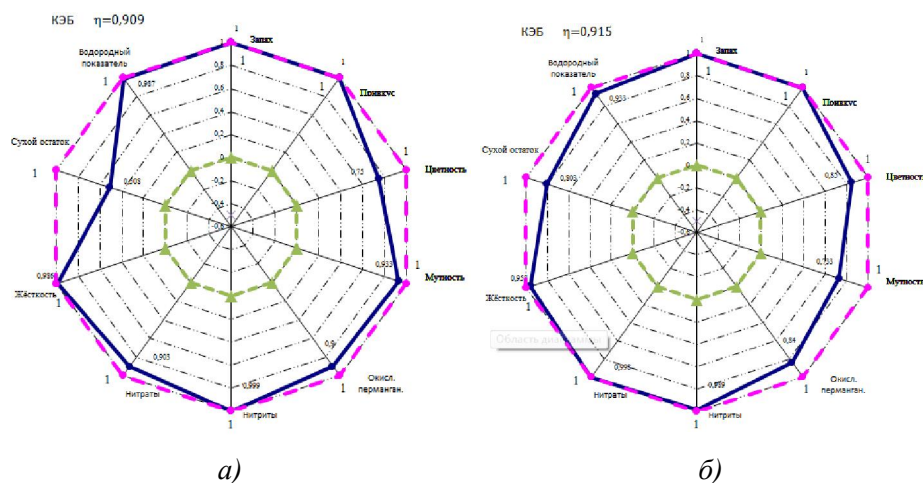


Рисунок 6 – Лепестковая диаграмма коэффициента экологической безопасности питьевой воды: а) "Шишкин лес", б) "Ключ здоровья"

Анализ полученных результатов показывает следующее. Наибольшей экологической безопасностью по принятым критериям обладает питьевая вода "Ключ здоровья" с КЭБ, равным 0,915. Коэффициенты экологической безопасности по всем компонентам для этой воды выше 0,733. На втором месте по экологической безопасности стоит питьевая вода "Шишкин лес", усреднённый коэффициент экологической безопасности для которой равен 0,909. Критичными для этого объекта являются показатели сухого остатка ($z_9 = 0,508$) и цветности $z_3 = 0,75$. Усреднённый коэффициент экологической безопасности для питьевой воды "Островская" равен 0,836, что

обусловлено низкими значениями КЭБ по жёсткости ($z_8 = -0,131$) и сухому остатку ($z_9 = 0,016$). Отрицательное значение КЭБ по жёсткости переводит этот объект по принятым критериям в разряд экологически-опасных. Пониженное значение усреднённого КЭБ ($z = 0,755$) для питьевой воды “Аква чистая” обусловлено низкими значениями КЭБ по цветности ($z_3 = 0,035$) и водородному показателю ($z_{10} = 0,333$). Наиболее критичным в этом случае является показатель цветности, поскольку его значение близко к предельно-допустимому (рис. 6).

В заключение приведём методику определения степени экологичности многокомпонентной системы.

1. Анализ показателей, характеризующих экологическое состояние системы, выбор нормативных значений этих показателей, распределение показателей на группы по виду задания предельно-допустимых значений.

2. Выбор и объединение в группу показателей с предельно-допустимыми значениями $x_{п.-д}$, ограничивающими их наибольшие значения $x_i \leq x_{п.-д}$, $x_i \in [0, c_i]$. Вычисление коэффициента экологической безопасности по каждому показателю группы

$$z_i = \frac{x_{п.-д} - x_i}{x_{п.-д}} = \frac{c_i - x_i}{c_i}.$$

3. Выбор и объединение в группу показателей с предельно-допустимыми значениями $x_{п.-д}$, ограничивающими их наименьшие и наибольшие значения $x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max}$, $x_i \in [a_i, b_i]$. Вычисление коэффициента экологической безопасности по каждому показателю группы

$$z_i = 1 - \frac{\left| (d_{1i} - d_{0i}) - (1 - 2d_{0i})(d_{2i} - 1 + d_{0i}) \right|}{2d_{0i}(1 - d_{0i})}.$$

4. Ранжирование и выделение критичных по минимуму запаса экологической безопасности показателей (отрицательные и наименьшие положительные значения КЭБ). Формирование вектора экологической безопасности многомерной системы $\bar{z} = [z_1 \ z_2 \ \dots \ z_n]^T$.

5. Вычисление коэффициента экологической безопасности для многомерной системы

$$z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{w_i z_i}{|z_i|} z_i^2}{\sum_{i=1}^{i=n} w_i}}.$$

6. Построение лепестковой диаграммы вектора экологической безопасности многомерной системы $\bar{z} = [z_1 \ z_2 \ \dots \ z_n]^T$.

7. Комплексный анализ степени экологического совершенства системы по вектору экологической безопасности, лепестковой диаграмме и усреднённому КЭБ.

Таким образом, для оценки экологического совершенства многокомпонентных систем введён коэффициент экологической безопасности и получены выражения для его вычисления. Экологическое состояние многокомпонентных объектов определяется усреднённым коэффициентом и вектором экологической безопасности, составляющие которого представляют собой оценки КЭБ по каждой компоненте системы. Экологически безопасным системам по выбранным критериям соответствуют объекты, у которых все составляющие вектора экологической безопасности, положительны, а экологически опасным – объекты, у которых хотя бы одна из составляющих вектора экологической безопасности отрицательна. Значение КЭБ, равное единице, соответствует идеальным системам по этому показателю, а равное нулю – системам с нулевым запасом экологической безопасности. Разработанная методика определения степени экологичности многокомпонентных систем позволяет проводить комплексный анализ степени экологического совершенства системы по вектору экологической безопасности, лепестковой диаграмме и усреднённому КЭБ, оценивать относительный запас по экологичности. Применение для представления экологической информации лепестковых диаграмм обеспечивает наглядность и удобство системного анализа многокомпонентных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прошин И.А., Сюлин П.В., Таранцев К.В. Системная организация научных исследований экосистем // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – № 02(06). – С. 166–170.
2. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Структурно-параметрический синтез математических моделей объектов исследования по экспериментальным данным // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2009. – № 1. – С. 110–115. – (Морская техника и технология).
3. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Построение математических моделей в задачах обработки экспериментально-статистической ин-

формации // Известия Самарского научного центра РАН. Авиационно-космическое машиностроение. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2012. – Т. 14. – № 1(2). – С. 425–428.

4. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Автоматизированная обработка информации в системах управления технологическими процессами : Монография. – Пенза : ПГТА, 2012. – 380 с.

УДК 629.735

**СИСТЕМА УЧЁТА АКУСТИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА
САМОЛЁТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВИАЦИИ В НОЧНОЕ ВРЕМЯ**

© *Н.И. Николайкин, Московский государственный технический университет гражданской авиации (г. Москва, Россия)*

© *Ю.А. Большунов, Открытое акционерное общество “Аэрофлот – Российские авиалинии” (г. Москва, Россия)*

**SYSTEM OF THE PLANES ACOUSTIC PERFECTION ACCOUNTING
FOR ENVIRONMENT PROTECTION FROM AIRCRAFT
NIGHT INFLUENCE**

© *N.I. Nikolaykin, Moscow State Technical University of Civil Aviation (Moscow, Russia)*

© *Y.A. Bolshunov, Joint Stock Company “Aeroflot – Russian Airlines” (Moscow, Russia)*

По результатам анализа современных направлений защиты окружающей среды от воздействия авиации предложен путь снижения ночного шума в отечественных аэропортах.

Ключевые слова: авиация, окружающая среда, шум, экологические требования.

By results of the environment protection modern directions analysis of aircraft influence against inhabitants near the domestic airports is offered the way of the night noise decrease.

Keywords: aviation, environment, noise, ecological requirements.

E-mail: nikols_n@mail.ru; bya60@yandex.ru

К концу прошлого столетия значимость экологических показателей деятельности любой отрасли экономики возросла до исключительно высокого уровня [1, 2]. Наличие и значимость проблем, вызываемых шумом воздушных судов (ВС) в районе аэропортов гражданской авиации (ГА), были осознаны ещё в 1960-х гг. На 16-й Ассамблее Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) в 1968 г. было принято решение о разработке международных отраслевых (для гражданской авиации) экологических стандартов. Такие стандарты в виде 2-х томов Приложения 16 к Чикагской конвенции о международной ГА [3] были созданы и в настоящее время ими пользуется всё авиационное сообщество.

В 2010 г. на 37-й Ассамблее ИКАО [4] было фактически признано, что цели снижения негативного воздействия авиации на окружающую сре-

ду, поставленные ранее, практически решены. За десятки лет напряжённой работы международной ГА удалось достичь многого, в том числе значительного прогресса в экологическом совершенствовании авиатехники. Так, в частности, через 20–25 лет шум ВС на местности, оцениваемый по правилам ИКАО, снизится на 70 дБ относительно современного уровня [5].

На рубеже веков, в связи с ростом объемов воздушных перевозок, экологические проблемы до определённой степени стали выступать в качестве сдерживающих факторов в развитии отрасли. Они, в частности, были использованы для решения как экономических, так и политических вопросов. Так, в 1990-х гг. были введены ограничения полётов российских ВС в Европу по шуму, что послужило одной из причин (см. рис. 2) резкой замены ВС отечественного производства на иностранные [6].

Во второй половине 2000-х годов ситуация изменилась, поэтому в итоговых документах 37-й Ассамблеи ИКАО (2010 г.) [7] определены новые цели, расширен круг рассматриваемых международным сообществом проблем авиаэкологии, произошло изменение приоритетов.

В сложившихся условиях в XXI в. внимание мировой общественности к проблемам экологической безопасности ГА оказалось сконцентрировано на таком важном для населения, проживающего вблизи аэродромов, вопросе, как беспокоящее воздействие авиационного шума в ночное время. На общее состояние здоровья человека влияют частые пробуждения ночью, снижение качества отдыха во время сна и т.п. факторы, связанные с уровнем шума, производимого ВС при выполнении взлётно-посадочных операций. Возрастание риска сердечно-сосудистых заболеваний населения, проживающего вблизи аэродромов, обусловленных воздействием авиационного шума на местности, в зависимости от его уровня (на примере крупных аэропортов), по данным [8, 9], представлено на рисунке 1.

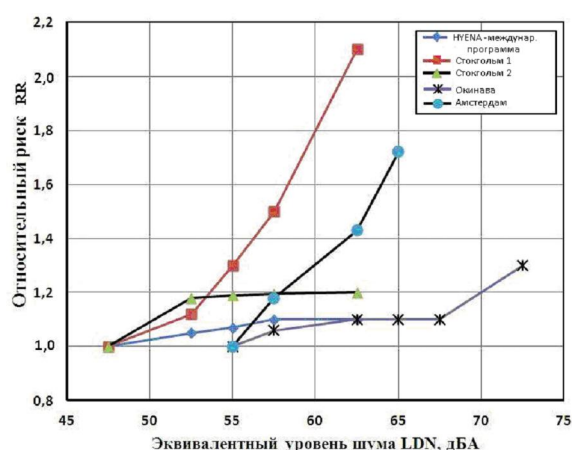


Рисунок 1 – Зависимость роста сердечно-сосудистых заболеваний вблизи крупных аэропортов от авиационного шума

По прогнозам ИКАО [4] количество людей в мире, подвергающихся воздействию авиационного шума, в будущем будет неуклонно увеличиваться (рис. 2) при любых сценариях использования новых достижений в про-

изводстве техники и новых усовершенствованиях процесса её эксплуатации. Этим обусловлен рост требований к снижению шума на территории развитых стран [10].

Таким образом, в ближайшие 10-15 лет для аэропортов в условиях относительной стабильности уже имеющегося парка ВС одним из приоритетных направлений снижения негативного воздействия авиаперевозок ГА на окружающую среду становится задача снижения уровня шума, беспокоящего население в ночное время.

Для решения проблемы снижения уровня шума, беспокоящего население ночью, предлагается в отечественных аэропортах при выборе конкретных типов самолётов, предназначенных для ночных авиаперевозок (совершающих вылеты и прилёты на конкретных аэродромах), использовать систему учёта акустического совершенства самолётов (АСС).

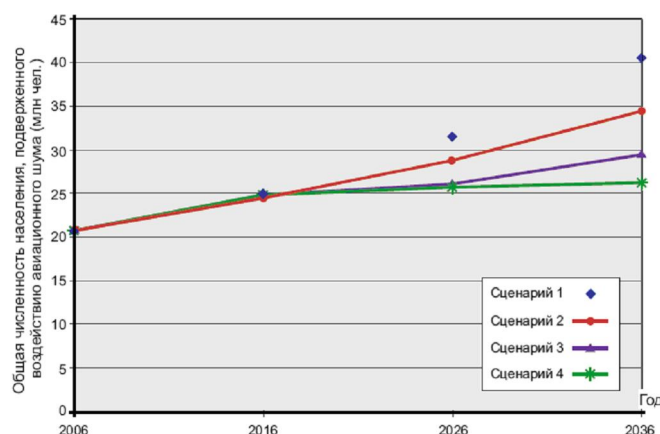


Рисунок 2 – Прогнозы ИКАО по изменению численности населения в мире, подвергнутого воздействию АШ с эквивалентным уровнем средневзвешенного суточного воздействия (с разделением суток на день-ночь по FAR-150) $LDN \geq 55$ дБА на ближайшие 25 лет

За базу следует принять QC (Quoter Count) систему, положительно зарекомендовавшую себя в ряде европейских аэропортов и вносящую существенный вклад в решение местных проблем авиаэкологии [11]. Эта система основана на ранжировании (классификации) парка самолётов авиакомпаний (либо ряда авиакомпаний, совершающих рейсы из одного аэропорта) по шуму, создаваемому на местности.

В QC системе учитывается, что для снижения уровня шума, создаваемого источником, на 3дБ, энергия, передаваемая звуковой волной от этого источника, должна уменьшиться в 2 раза и тогда аналогичным образом изменится (уменьшится) раздражающее действие шума на население, проживающее вблизи аэропортов. Следовательно, в зависимости от шумности (акустического совершенства) все ВС можно подразделить на группы.

За базовую группу (с показателем АСС, равным 1) рекомендуется принять группу, имеющую диапазон уровней создаваемого шума от 90 до 93

EPN¹ дБ. Тогда другие ВС, которым характерны иные значения шума, создаваемого в диапазоне от 84 до 102 дБ, распределяются по группам, приведённым в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение диапазона шумов, создаваемых современными самолётами, по группам акустического совершенства

№	Показатель АСС	Диапазон уровней шума L, EPNдБ
1	16	более 101,9
2	8	99 ... 101,9
3	4	96 ... 98,9
4	2	93 ... 95,9
5	1	90 ... 92,9
6	0,5	87 ... 89,9
7	0,25	84 ... 86,9
8	0 - без ограничения полётов ночью	менее 84

Расчёт уровня шума ВС в соответствии с предложенной системой учёта акустического совершенства самолётов выполняется в следующей последовательности. Шум в процессе процедур вылета (боковой шум и шум при наборе высоты) следует определять по зависимостям:

$$L_{\text{вылет}} = (L_{\text{взлет}} + L_{\text{набор высоты}}) : 2, \quad (1)$$

$$L_{\text{вылет}} = (\text{EPNL}_{\text{взлет}} + \text{EPNL}_{\text{набор высоты}}) : 2. \quad (2)$$

Тогда как шум в процессе процедур прилёта рассчитывается по зависимостям:

$$L_{\text{прилет}} = L_{\text{посадка}} - 9 \text{ EPNдБ}, \quad (3)$$

$$L_{\text{прилет}} = \text{EPNL}_{\text{посадка}} - 9 \text{ EPNдБ}, \quad (4)$$

где 9 EPNдБ – эмпирическая поправка, характеризующая относительно более близкое расположение места расположения контролирующего прибора (шумомера), стандартизованного правилами ИКАО, к ВС, пролетающему над осью взлётно-посадочной полосы, а также масштабы воздействия шума (размеры “шумового следа”) ВС при посадке.

При отсутствии детальной информации о шуме на местности, создаваемом ВС различных типов (как отечественных, так и зарубежных), расчёт показателя АСС рекомендуется проводить по данным сертификационных испытаний ВС по шуму. Такие сертификационные испытания по правилам ИКАО [3] проводятся в 3-х контрольных точках, характеризующих наиболее шумные этапы движения самолёта в зоне аэропорта (см. рис. 3).

¹ EPNL от англ. *effective perceive noise level* (эффективный уровень воспринимаемого шума), измеряется в EPN децибелах [дБ].

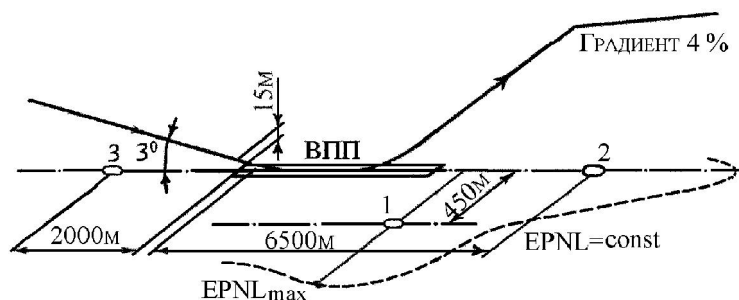


Рисунок 3 – Схема размещения контрольных точек измерения уровня шума, создаваемого самолётом на местности; $(EPNL = const)$ – контур шума, то есть изолиния постоянного значения эффективного уровня воспринимаемого шума от взлетающего самолёта; $EPNL_{max}$ – точка контура, максимально удалённая от оси ВПП; 1, 2, 3 – контрольные точки, характеризующие шум при взлёте, наборе высоты и посадке

Измерения проводятся по международной системе оценки авиационного шума на местности EPNL в единицах EPNдБ или L_A (в единицах дБА). Информация о ВС, прошедших сертификационные испытания, представлена в “Банке данных ИКАО” (Noise dB) [12].

В таблице 2 сведены исходные данные по шуму, полученные из материалов сертификационных испытаний, и результаты расчёта показателей акустического совершенства самолётов для всего современного парка ВС авиакомпании “Аэрофлот”.

Таблица 2 – Распределение показателей акустического совершенства парка (на апрель 2013 г.) самолётов авиакомпании “Аэрофлот”

Тип ВС	A319	A320	A321	A330	B767	B777	IL-96	SSJ-100	MD-11F
Количество ВС	15	46	21	22	5	3	6	10	4
EPNLдБ (набор высоты)	84,4	84,7	86,6	90,2	90,1	90	103,3	90,7	94,6
EPNLдБ (взлет)	91,4	93,5	96,1	97,4	97	99,2	97,6	82,9	96,2
EPNLдБ (посадка)	94,1	95,5	96,4	96,6	97,5	100,5	104,2	94,3	104,6
L вылет	87,9	89,1	91,35	93,8	93,55	94,6	100,45	86,8	95,4
L прилет	85,1	86,5	87,4	87,6	88,5	91,5	95,2	85,3	95,6
Показатель АСС при взлете	0,5	0,5	1	2	2	2	8	0,25	2
Показатель АСС при посадке	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	1	2	0,25	2

Следует учитывать, что шум при посадке ВС может не быть равным шуму, производимому этим же ВС при взлёте, в частности, из-за расходования значительного количества авиатоплива в полёте. В табл. 3 приведены характерные показатели АСС для парка самолётов одной из британских авиакомпаний.

Таблица 3 – Распределение показателей акустического совершенства парка самолётов на примере существующего парка авиакомпании British Airways, по [13]

Тип ВС	Показатель АСС	
	при взлёте	при посадке
BAe 146-100/200/300	0,25	0,25
BAe RJ 100	0,25	0,5
Embraer 145	0,25	0,25
A319	0,5	0,25
A320-111/211	1	0,5
A320-232	0,5	0,25
A321-231	1	0,25
B737-300	0,5	1
B737-400	0,5	1
B737-500	0,25	1
B757-200	0,5	0,25
B767-300 (короткие авиалинии)*	1	1
B767-300 (авиалинии большой дальности)*	2	1
B777-200/200IGW	1	0,5
B777-200ER	2	1
B747-400	4	2

* При выполнении полётов на различные дистанции необходимо иметь различный запас авиатоплива, используются различные авиадвигатели

Использование принципа классифицирования ВС по группам, отличающимся удвоением акустической энергии, передаваемой звуковой волной, позволяет существенно упростить сравнительную оценку уровней шума, создаваемых ВС различных типов. Раздражающее воздействие, которое будет оказано на население в случае пролёта одного ВС любой группы, например с показателем АСС = 8, будет эквивалентно воздействию, оказанному при пролёте двух ВС, относящихся к соседней, менее шумной, группе (в рассматриваемом случае с показателем АСС = 4), или при пролёте четырех ВС из группы с показателем АСС = 2 (см. табл. 1).

Так, например, два вылета самолёта B767-300 с показателем АСС = 1, будут соответствовать четырем вылетам самолётов A320-232 (с показателем АСС = 0,5), а две посадки этого же самолёта будут соответствовать восьми посадкам самолетов A320-232 (с показателем АСС = 0,25).

Таким образом, успехи, достигнутые международной ГА в начале XXI века в сфере уменьшения негативного воздействия авиации на окружающую среду, позволили выявить новые направления экологической деятельности ГА, в частности, сконцентрировать усилия специалистов на важном для населения, проживающего вблизи аэродромов, вопросе уменьшения беспокоящего воздействия авиационного шума в ночное время.

Поэтому в настоящее время многие европейские аэропорты используют различные ограничения ночных полетов: путем ввода экологических сборов или путем ограничения количества шумных взлетов или посадок ВС в оговоренный период времени.

Следовательно, система учёта акустического совершенства самолётов за счёт оперативного использования различных самолётов из существующего

ющего у авиакомпании парка воздушных судов позволяет увеличить объём выполняемой ночью авиатранспортной работы без увеличения раздражающего воздействия шума или при выполнении заданного объёма перевозок – уменьшить раздражающее воздействие шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aviation and Global Atmosphere*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. – 350 p.
2. Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Матягина А.М. *Ноксология : Учеб. пособие*. – М. : МГТУ ГА, 2013. – 56 с.
3. *Международные стандарты и рекомендуемая практика. Охрана окружающей среды. Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. (Environmental protection. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation) : В 2-х т. – Изд. 2-е (с посл. поправками). – Монреаль, Квебек, Канада : ИКАО, 1993.*
4. *Нынешние и будущие тенденции в области авиационного шума и эмиссии авиационных двигателей. Документ ИКАО А37-WP/26. – Монреаль, 2010. – 10 с.*
5. Мельников Б.Н., Большунов Ю.А., Николайкин Н.И. *Перспективы создания малошумных самолётов гражданской авиации // Безопасность в техносфере. – 2010. – № 2. – С. 32–37.*
6. Николайкин Н.И., Тараничев А.А. *К вопросу уменьшения выброса парниковых газов при авиaperевозках // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14, – № 1(3). – С. 779–783.*
7. *Сводное заявление о постоянной политике и практике ИКАО в области охраны окружающей среды. Резолюции А37-18 и А37-19. Док. 9958, Ч.1. Монреаль: ИКАО, 2011. – С. 62–86.*
8. Babisch W., van Kamp I. *Guidelines for community noise impact assessment and mitigation. Final report, I-INCE Publication, №11-1, 2011, March, – 54 p.*
9. Jarup L. et al. *Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study (Гипертензия и воздействие шума вблизи аэропортов: исследования по программе HYENA). Environ. Health Perspect., 2008, March, v.116, №3, – P.329-333.*
10. *Руководство ВОЗ по ограничению шума в ночное время суток в Европе (Night Noise Guidelines (NNGl) for Europe. Final report). Европейское региональное бюро ВОЗ. Bonn, Germany, 2007, – 320 p. – URL : Режим доступа: http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2003/action3/docs/2003_08_frep_en.pdf. (дата обращения 03.04.2013).*
11. Большунов Ю.А., Мельников Б.Н., Николайкин Н.И. *Оценка рисков здоровью населения и лётного состава ГА при воздействии шума и выбросов загрязняющих веществ // Научный вестник МГТУ ГА. – 2013. – № 192.*
12. *Noise Certification Database. ICAO. – URL : <http://noisedb.stac.aviation-civile.gouv.fr/find.php> (Дата обращения: 15.04.2013).*
13. *Quota Count night restrictions classification scheme. – URL : http://www.britishairways.com/travel/cnoise/public/en_gb (Дата обращения: 15.04.2013).*

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОГО
МЕТОДА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
ОТ СОЕДИНЕНИЙ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМА**

© *К.Р. Таранцева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *А.А. Сергунов, ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт им. М.В.Проценко»»
(г. Заречный, Пензенской области, Россия)*

© *А.Д. Николотов, ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт им. М.В.Проценко»»
(г. Заречный, Пензенской области, Россия)*

**IMPROVEMENT OF GALVANOKOAGULYATION
TREATMENT METHOD OF ELECTROPLATING OF HEXAVALENT
CHROMIUM**

©*K.R. Tarantseva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

©*A.A. Sergunov, FGUP FNPC «PO «START name M.V. Procenko»»
(Zarechny, Penza region, Russia)*

©*A.D. Nikolotov, FGUP FNPC «PO «START name M.V. Procenko»»
(Zarechny, Penza region, Russia)*

Рассмотрен усовершенствованный гальванокоагуляционный метод очистки сточных вод гальванического производства от значительных количеств соединений шестивалентного хрома.

Ключевые слова: шестивалентный хром, сточные воды, гальванокоагуляция.

Considered an improved method galvanokoagulyatsionny wastewater from electroplating significant amounts of hexavalent chromium.

Key words: hexavalent chromium, waste water, galvanokoagulyatsiya

Широко применяемый реагентный метод очистки сточных вод промышленных предприятий не удовлетворяет по ряду причин, в том числе из-за громоздкости оборудования, значительного расхода реагентов, невозможности возврата в оборотный цикл очищенной воды из-за повышенного содержания солей [1, 2].

Альтернативным методом очистки сточных вод от соединений шестивалентного хрома является гальванокоагуляционный метод. Данный метод основан на использовании эффекта гальванического элемента железо-кокс (в соотношении 4:1) (железная стружка, железные опилки) или железо-медь, помещённого в очищаемый раствор. За счёт разности электрохимических потенциалов железо является анодом и переходит в раствор без наложения тока от внешнего источника. Кокс или медь в гальванопаре являются катодом [3–6].

Данный метод совмещает одновременно восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного и одновременное извлечение соединений трехвалентного хрома в виде нерастворимого осадка. Однако существенные огра-

ничения накладываются тем, что невозможно извлекать соединения шестивалентного хрома из сточных вод с концентрацией хрома (+6) более 200 мг/л.

Одним из возможных вариантов очистки хромсодержащих сточных вод в концентрации шестивалентного хрома более 200 мг/л является использование активированного железа, на поверхности которого имеется множество гальванопар, образованных железом и металлом, имеющим более положительный стандартный потенциал (например, медь), вместо смеси железо-кокс, а также дозированное введение раствора серной кислоты в объем гальванокоагулятора.

В данной работе исследовано влияние различных активаторов на стальную стружку и количество введенной серной кислоты.

Методика эксперимента

В качестве тестового раствора использовали хромсодержащий раствор с содержанием хромового ангидрида 0,2 г/л. Раствор выдерживали в контакте с обезжиренной стальной стружкой (смесь Ст 20, Ст 25, Ст 30), активированной в четырех вариантах:

- раствором серной кислоты;
- стальные стружки, смешанные с медными стружками 4:1, активированные раствором серной кислоты;
- раствором сульфата меди (II);
- раствором хлорида олова (II).

Исходный хромсодержащий раствор контактировал со стальной стружкой в течение 30 минут. Суммарное содержание хрома (в зависимости от концентрации) определялось объемным методом, основанным на окислении хрома (III) в (VI) персульфатом аммония в присутствии катализатора – ионов серебра, с дальнейшим титрованием образовавшегося хромата солью Мора в присутствии фенилантраниловой кислоты.

Результаты и их обсуждение

Результаты данного эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ пробы	pH	Ст общ., г/л.	Cr ⁺⁶ , мг/л
1	4,60	0,1	0,094
2	3,88	0,18	0,153
3	4,64	0,094	0,0854
4	2,62	0,39	0,359

Из данных таблицы 1 следует, что общепринятым гальванокоагуляционным методом эффективно очистить данные хромсодержащие сточные воды не удастся.

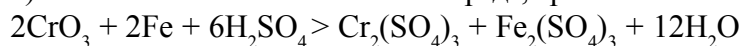
Альтернативным способом очистки хромсодержащих сточных вод является гальванокоагуляционный метод очистки с использованием дозированного добавления раствора серной кислоты в объем гальванокоагулятора (при этом реагенты-восстановители не вводятся).

Восстановителями шестивалентного хрома в очищаемых растворах могут являться:

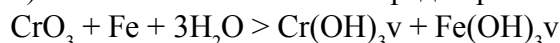
1) выделяющийся атомарный водород на поверхности стальной стружки:



2) металлическое железо в кислой среде, при наличии избытка кислоты:



3) металлическое железо в среде с pH близкой к нейтральной:



Первые две реакции протекают при наличии достаточного количества свободной серной кислоты в растворе. Результаты данного эксперимента приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Состав хромсодержащих растворов после гальванокоагуляционного метода очистки с дозированным добавлением раствора серной кислоты (исходный раствор содержал пятикратный избыток серной кислоты)

№ пробы	pH	Cr общ., г/л	Cr ⁺⁶ , мг/л
1	3,10	0,618	0,29
2	3,14	0,643	0,29
3	3,32	0,583	0,27
4	3,40	0,347	0,22

Таблица 3 – Состав хромсодержащих растворов после гальванокоагуляционного метода очистки с дозированным добавлением раствора серной кислоты (исходный раствор содержал количество серной кислоты согласно уравнению 2).

№ пробы	pH	Cr общ., г/л	Cr ⁺⁶ , мг/л
1	4,24	0,43	0,203
2	4,08	0,49	0,230
3	3,99	0,40	0,220
4	3,59	0,67	0,340

Согласно данным, приведенным в таблицах 2 и 3, очевидно, что при наличии достаточного количества свободной серной кислоты идет восстановление Cr⁺⁶ до Cr⁺³, причем при большом избытке серной кислоты преобладает восстановление хрома по уравнению 1, и в данном варианте оказываются более эффективными стальные стружки, активированные раствором сульфата меди (II) и хлорида олова (II) (см. позиции 3 и 4).

При наличии в растворе серной кислоты, согласно уравнению 2, восстановление хрома протекает за счет атомарного водорода (уравнение 1) и за счет металла стружки (уравнение 2).

Причем наименее эффективной является стружка, активированная солями олова. Связано это с тем, что на олове высокое перенапряжение во-

дорода, и восстановление Cr^{+6} в данном случае по уравнению 1 затруднительно (см. позицию 4 табл. 3). Вместе с тем следует отметить, что наличие количества серной кислоты, согласно уравнению 2, приводит к образованию в растворе продуктов гидролиза солей железа и хрома с образованием нерастворимых соединений, которые могут быть удалены фильтрованием.

Так как в пробе 1 (чистая стальная стружка) и первая и вторая реакция протекают с достаточной скоростью, происходит большой расход кислоты, что приводит к увеличению pH и, как следствие, более быстрому образованию осадка и уменьшению содержания Cr^{+6} и Cr общего в исходном растворе (см. позицию 1 табл. 3).

При наличии в растворе серной кислоты, согласно уравнению 3, восстановление хрома протекает преимущественно по уравнению 3, при этом наблюдается обильное образование объемных железо- и хромсодержащих осадков, причем наиболее эффективной оказалась стальная стружка, активированная сульфатом меди (II), где после 30-минутной выдержки раствор содержит низкие концентрации Cr^{+6} и более низкие концентрации Cr^{+3} (см. позицию 3 табл. 4).

Относительно высокие концентрации Cr^{+6} в пробах 1 (стальная стружка) и 2 (стальная стружка + медная стружка) говорят о пассивации поверхности стали и ее низкой эффективности, т.к. протекание реакции по уравнению 1 и 2 затруднительно.

Таблица 4 – Состав хромсодержащих растворов после гальванокоагуляционного метода очистки с дозированным добавлением раствора серной кислоты (исходный раствор содержал количество серной кислоты согласно уравнению 3).

№ пробы	pH	Cr общ., г/л.	Cr^{+6} , мг/л
1	3,0	0,36	68
2	2,88	0,39	100
3	3,78	0,059	0,049
4	2,77	0,51	0,14

Выводы

Таким образом, использование гальванокоагуляционного метода очистки с дозированным добавлением серной кислоты (согласно уравнению 3) с использованием стальной стружки, активированной сульфатом меди (II), позволяет эффективно очищать хромсодержащие стоки от ионов Cr^{+3} , Cr^{+6} , при этом:

- 1) не происходит дополнительной минерализации очищаемых стоков (в отличие от реагентного способа);
- 2) образующиеся коллоидные частицы на своей поверхности дополнительно адсорбируют посторонние ионы и органические вещества;
- 3) образующийся железо-, хромсодержащий шлам является малотоксичным, что упрощает его утилизацию;
- 4) щелочного агента на доочистку (в случае необходимости) затрачивается значительно меньше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таранцева К.Р., Красная Е.Г., Коростелева А.В., Лебедев Е.Л. Анализ техногенного воздействия промышленных предприятий г. Пензы на гидросферу // *Экология и промышленность России*. – 2010. – № 12. – С. 40–45.
2. Таранцева К.Р., Николотов А.Д., Сергунов А.А. Использование модифицированного гальванокоагуляционного метода для очистки гальванических стоков от соединений шестивалентного хрома // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – Пенза : Пенз. гос. технол. акад., 2012. – № 2. – С. 196–200.
3. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91): *Гигиенические нормативы*. – М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. – 8 с.
4. Гальванические покрытия в промышленности : Справочник : В 2-х томах / Под ред. Шлугера. – М. : Машиностроение, 1985.
5. Котик Ф.И. Ускоренный контроль электролитов, растворов и расплавов : Справочник. – М. : Машиностроение, 1978. – 191 с.
6. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. – М. : Стройиздат, 1973. – 272 с.

УДК 579.64

**ВЛИЯНИЕ РИЗОТОРФИНА НА СИМБИОТИЧЕСКУЮ
АЗОТФИКСАЦИЮ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИКИ
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ЧЕРНОЗЁМЕ**

© *Н.И. Аканова, ГНУ ВНИИ Агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
(г. Москва, Россия)*

© *Е.Д. Двойникова, ГНУ ВНИИ Агрохимии им. Д.Н. Прянишникова,
(г. Москва, Россия)*

**INFLUENCE OF [RIZOTORFINA] ON SYMBIOTIC NITROGEN
FIXATION AND PRODUCTIVITY OF VETCH WITH THE
CULTIVATION ON THE LIXIVIATED CHERNOZEM**

© *N.I. Akanova, SSI All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry
after D.N. Pryashnikov (Moscow, Russia)*

© *E.D. Dvoynikova, SSI All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry
after D.N. Pryashnikov (Moscow, Russia)*

В статье рассматриваются биоконтрольное действие биопрепаратов, их влияние на азотное питание растений, накопление элементов питания в урожае в зависимости от внесения удобрений, уровня плодородия почвы, погодных условий вегетационного периода.

Ключевые слова: бобовые растения, азот, азотфиксация, урожай, плодородие почв.

Bio-control action of bio-preparations, it's influence on the nitrogen nutrition of plant, accumulation of nutrition elements in harvest depended on employment of fertilizers, soil fertility, climatic conditions of vegetative period.

Key words: bean plants, nitrogen, nitrogen fixation, harvest, the fertility of the soils.

В природно-климатических условиях Пензенской области среди однолетних бобовых культур вика яровая (*V. sativa*) является распространенной культурой разностороннего использования. Ценность ее определяется высокой урожайностью зеленой массы и семян, что выделяет вику как важного компонента интенсификации в создании полноценной кормовой базы для животноводства области [1, 2].

Вика – культура длинного дня, влаголюбива, имеет тонкий полегающий, как правило, опушенный стебель, дает высокие урожаи зеленой массы с отличными кормовыми достоинствами, в т.ч. высоким содержанием перевариваемого протеина и незаменимых аминокислот, что делает возможным использовать ее для заготовки как зеленой массы, так и сена, сенажа и травяной муки [3, 4].

Применение для инокуляции семян бобовых трав бактериологических препаратов позволяет регулировать микробиологические процессы в почве, обуславливающие, главным образом, улучшение минерального питания, фиксирование атмосферного азота, что имеет большое значение в экологизации производства и реализации потенциальной продуктивности культуры.

Задачей исследований была оценка эффективности применения “Ризоторфина” при возделывании вики в зависимости от региональных агроэкологических условий. Ризоторфин представляет собой препарат высокоэффективных клубеньковых бактерий, выращенных на торфяном субстрате. В одном грамме препарата содержится не менее 2,5 млрд. активных клубеньковых бактерий. Дозы внесения ризоторфина – 200 г на гектарную норму посева. Процесс инокуляции представляет собой применение искусственно полученных клубеньковых бактерий рода *Rhizobium* для улучшения азотфиксации. Механизм положительного действия биопрепарата связан с интенсивным усвоением атмосферного азота бактериями, их способностью улучшать минеральный и водный обмен растений за счет усиления погложительной активности корней, а также продуцировать фитогормоны и повышать устойчивость к грибным и бактериальным инфекциям [5, 6].

Симбиотическая азотфиксация играет существенную роль в обеспечении бобовых культур, связанных азотом. По вопросу необходимости внесения азотных удобрений под бобовые растения имеются противоречивые суждения. Ряд исследователей считают, что внесение минерального азота под зернобобовые культуры, по крайней мере, нерационально [7, 8]. Имеются также сведения об эффективности применения небольших доз азотных удобрений, которые необходимы на первых этапах развития растений и положительно влияют на рост корней формирования на них клубеньков [9–12]. Однако существует также и еще другое мнение, что максимальный урожай бобовых культур можно получить только в условиях применения высоких доз азотных удобрений [13].

Для реализации поставленной нами задачи мы придерживались точки зрения, что инокуляция активными расами клубеньковых бактерий и обеспечение растений “стартовым” количеством минерального азота позволят наиболее полно реализовать потенциал продуктивности бобовой культуры [14, 15].

На наш взгляд, в большей степени неоднозначность суждений по этому вопросу можно объяснить существенными различиями в условиях про-

ведения экспериментов, агрохимических свойств почв, температурных и влажностных показателей.

В данной работе обобщены результаты опыта, заложенного на опытном поле СПК «Тигант», расположенного в западной части Кузнецкого района Кузнецко-Лопатинской агропочвенно-климатической зоне Пензенской области. Специализация хозяйства – производство зерна. Почва участка – чернозем выщелочный, среднегумусный, среднемощный тяжелосуглинистый. Основные агрохимические параметры: содержание гумуса – 6,3 %, подвижного фосфора – 57 мг/кг почвы, обменного калия – 168 мг/кг почвы, обеспеченность подвижными формами микроэлементов низкая, реакция почвенной среды $pH_{\text{сол}}$ – 5,2–5,4.

Агротехника вики была общепринятой для лесостепи Среднего Поволжья.

Вегетационный период 2012 г. характеризовался неравномерным выпадением осадков, в том числе в мае недостатком количества осадков, и повышенным температурным режимом в июне и июле. Площадь учетной делянки – 30 м². Повторность – 4-кратная. Норма высева семян 120 кг/га. Предшественник – озимая пшеница. Минеральные удобрения – аммиачная селитра, суперфосфат, хлористый калий. Ризоторфин для инокуляции наносили на семена вики сорта Льговская 31-292 перед посевом вручную. Глубина заделки семян вики 3–5 см, при рядовом способе посева, ширина междурядий 8–12 см. Исследование влияния бактериологического препарата на формирование корневой системы проводили по методике Н.З. Станкова (1964). Об эффективности бобово-ризобияльного симбиоза судили по урожаю зеленой массы вики и содержанию в ней сырого протеина. С учетом возделывания вики в системе зеленого конвейера в опыте к скашиванию приступили в фазу образования бобов, когда формируется максимальная урожайность зеленой массы и обеспечивается более высокий сбор белка. Период вегетации составил 99 дней. Обработка семян препаратом не оказала влияния на скорость наступления фаз растений вики и вегетационный период в целом.

Вика, как и все другие зернобобовые культуры, хорошо использует последнее действие удобрений, внесенных под предшественник (озимая пшеница). Необходимость внесения минеральных удобрений непосредственно под вику возникает при низкой обеспеченности почвы доступными формами минерального питания. С учетом средней обеспеченности подвижными формами макроэлементов, в опыте применяли под основную обработку $P_{45}K_{45}$.

В полевом опыте по изучению влияния ризоторфина на урожайность вики установлено, что применение этого бактериального препарата на черноземе выщелоченном Пензенской области является высокоэффективным приемом, обеспечивающим повышение продуктивности на 26,4–36,2 % в сравнении с небактеризованными вариантами. Приrost сырого протеина под влиянием клубеньковых бактерий составил 387,9–525,0 кг/га (табл. 1). Инокуляция оказалась эффективной по фону как фосфорных и калийных удобрений, так и полного минерального удобрения, получены достоверные прибавки, соответственно, 70 и 96 ц/га

по отношению к контролю, при этом 46 и 52 ц/га от применения ризоторфина. Отметим, что в условиях применения бактериального препарата небольшая доза азотных удобрений N_{20} обеспечила получение прибавки урожая зеленой массы вики 26 ц/га, или 36,2 % в сравнении с контролем, в то время как на фоне фосфорно-калийных удобрений – 26,4 %.

Таблица 1 – Влияние ризоторфина на продуктивность вики (зел. масса)

Варианты опыта	Средний урожай				Сырой протеин		
	ц/га	прибавка урожая			%, зел. масса	сбор	прибавка
		ц/га	%	от ризоторфина, ц/га		кг/га	
Контроль	265	-	100	-	3,10	821,5	-
$P_{45}K_{45}$	289	24	9,1	-	3,16	913,2	91,7
$N_{20}P_{45}K_{45}$	309	44	16,6	-	3,23	998,1	176,6
$P_{45}K_{45}$ +ризоторфин	335	70	26,4	46	3,61	1209,4	387,9
$N_{20}P_{45}K_{45}$ +ризоторфин	361	96	36,2	52	3,73	1346,5	525,0
НСП ₀₅ , ц/га	21,0				0,13		
m, %	3,11				2,75		

Эффективность инокуляции отчетливо проявилась в накоплении белка – содержание сырого протеина по фону $P_{45}K_{45}$ 3,61 %, что на 0,51 % больше по сравнению с контролем, повышение белковости от ризоторфина составило 0,45 %. Использование минерального азота способствовало дальнейшему улучшению качества кормовой продукции – содержание сырого протеина от ризоторфина увеличилось на 0,5 % и составило 3,73 %.

Фиксация бобовыми растениями атмосферного азота обеспечивает высокие урожаи дешевого растительного белка при существенной экономии дорогостоящих минеральных удобрений. С пожнивно-корневыми остатками бобовых трав в почве остается в среднем около 50 % фиксированного из воздуха азота, который существенно повышает плодородие почвы и урожай последующих культур. В естественных условиях бобовые растения используют только 10–30 % своего азотфиксирующего потенциала. Инокуляция их эффективными штаммами клубеньковых бактерий повышает этот показатель до 15–50 % (на 40–60 %), а остальной резерв может быть использован при оптимизации условий функционирования симбиоза.

Корневая система вики яровой – стержневая с большим числом бобовых корешков. Формирование корней в определенной мере повторяет динамику роста стебля, наибольший прирост их массы отмечается в период

от начала цветения до начала образования бобов. Коэффициент продуктивности корневой системы вики (отношение надземной массы к массе корней) находится в пределах 2,1-2,7. Число клубеньков на корнях является одним из основных показателей азотфиксирующей способности растений. В опыте была проведена оценка влияния ризоторфина на клубеньковообразующую способность вики (табл. 2). Нарастание количества и массы клубеньков как на контроле, так и в опытных вариантах постепенно увеличивалось к фазе образования бобов. Максимальную величину симбиотического аппарата посева вики сформировали в вариантах с применением полного минерального удобрения, количество активных клубеньков составило 95 млн. шт./га, что практически в 2 раза больше контрольного варианта.

Таблица 2 – Формирование симбиотического аппарата вики (млн. шт/га)

Варианты опыта	Фазы развития растений			
	всходы — ветвление	кущение — бутонизация	колошение — цветение — зернообразование	образование боба
Контроль	27/25*	65/48	59/35	47/0
P ₄₅ K ₄₅	36/33	71/65	71/52	55/0
N ₂₀ P ₄₅ K ₄₅	44/41	89/85	87/65	65/0
P ₄₅ K ₄₅ +ризоторфин	51/49	115/81	94/81	75/0
N ₂₀ P ₄₅ K ₄₅ +ризоторфин	57/55	120/95	102/85	89/0

*Примечание: числитель — общее число клубеньков, знаменатель — активных.

Показатель продолжительности общего симбиоза не отражает времени активной работы симбиотического аппарата. Показателем, характеризующим величину симбиотического аппарата, является симбиотический потенциал, включающий в себя два критерия азотфиксации: массу клубеньков и продолжительность их функционирования. Общий симбиотический потенциал (ОСП) учитывает всю массу клубеньков, а активный (АСП) — массу клубеньков с леггемоглобином. В наших опытах максимальные значения масса клубеньков достигнуты при использовании полного минерального удобрения в сочетании с ризоторфином (табл. 3). Эффективность величины бобово-ризобияльного симбиоза отражает масса клубеньков с леггемоглобином, который, связывая кислород, создает необходимые микроаэрофильные условия в клубеньке и вместе с тем транспортирует к бактериодам кислород, необходимый для дыхания. В результате анализа установлено, что наибольшая масса азотфиксирующих клубеньков формируется в фазу цветения вики, в условиях сочетания ризоторфина и полного минерального удобрения масса клубеньков составила 137 кг/га, при этом активных — 125 кг/га, что выше, чем на контрольном варианте в 2 раза.

Таблица 3 – Динамика изменения сырой массы клубеньков в период вегетации яровой вики (кг/га)

Варианты опыта	Фазы развития растений		
	кущение – бутонизация	колошение – цветение	образование боба – налив зерна
Контроль	22/19*	68/59	81/51
P ₄₅ K ₄₅	25/21	77/66	92/65
N ₂₀ P ₄₅ K ₄₅	29/27	93/75	101/67
P ₄₅ K ₄₅ +ризоторфин	31/28	128/112	116/80
N ₂₀ P ₄₅ K ₄₅ +ризоторфин	36/33	137/125	131/92

* Примечание: числитель – общее число клубеньков, знаменатель – активных

Таким образом, предпосевная обработка семян ризоторфином положительно влияет на формирование агроценоза вики: наиболее стимулирующее действие выявлено при совместном использовании ризоторфина с полным минеральным удобрением. В этих условиях отмечается наибольшее количество и масса активных клубеньков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоний А.К., Пылов А.П. *Зернобобовые культуры на корм и семена*. – Л. : Колос, 1980. – 220 с.
2. Беляк В.Б., Болахонова В.И. *Продукционная и средообразующая оценка кормового севооборота из бобово-злаковых смесей // Кормопроизводство*. – 2009. – № 11. – С. 12–15.
3. Воронцов Г.В. *Кормовые достоинства зерна вики посевной и ее использование в рационах молодняка свиней // Биол. акт. в-ва в живот-ве*. – 1988. – С. 80–84.
4. Васин А.В., Ельчанинов Н.Н. *Зернобобовые культуры в чистых и смешанных посевах на фураж // Земледелие*. – 2006. – № 4. – С. 28–29.
5. Завалин А.А. *Биопрепараты, удобрения и урожай*. – М., 2005. – 302 с.
6. Завалин А.А., Алметов Н.С. *Применение биопрепаратов и биологического азота в земледелии Нечерноземья*. – М., 2009. – С. 55–59.
7. Тихонович И.А. *Роль и место сельскохозяйственной науки в АПК России / И.А. Тихонович, И.А. Архипченко, А.Ю. Борисов [и др.]*. – М., 2005. – С. 181–206.
8. Гнетиева Л.Н., Барышникова Л.М. *Влияние нитрагина и минерального азота на уровень симбиотической азотфиксации, урожай белого кормового люпина и кормовых бобов и его качество // Тр. ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии*. – Л., 1987. – Т. 57. – С. 51–57.
9. Доросинский Л.И. *Клубеньковые бактерии и нитрагин*. – Л., 1970. – 191 с.
10. Доросинский Л.И. *Повышение продуктивности бобовых культур и улучшение их качества // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР*. – М., 1985. – С. 31–45.
11. Мильто Н.И. *Клубеньковые бактерии и продуктивность бобовых растений*. – Минск : Наука и техника, 1982. – 296 с.
12. Григорьев Ю.П., Казанцев В.П. *Влияние ризоторфина на кормовую продуктивность вики и вико-мятликовых смесей // Научная жизнь*. – 2012. – № 2. – С. 6–12.

13. Гукова М.М. Особенности питания бобовых растений свободным и связанным азотом : Автореф. дис. ...д-ра биол. наук. – М., 1974. – 42 с.
14. Алисова С.М. Влияние минерального азота на ацетиленвосстанавливающую активность клубеньков гороха / С.М. Алисова [и др.] // Тр. ВНИИ с.-х. микробиологии. – Л., 1987. – Т. 47. – С. 42–47.
15. Лунашку З.А. Усвоение минерального азота и биологического азота соей при инокуляции // Микроорганизмы и продуктивность сельского хозяйства. – Рига, 1980. – 145 с.

УДК 51-74:519.711:519.714:666.972.7

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ
НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ¹**

- © *А.Н. Бормотов*, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © *М.В. Кузнецова*, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © *Е.А. Колобова*, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**THEORETICAL BASIS OF MATHEMATICAL MODELING
COMPOSITES FROM WASTE OIL REFINING INDUSTRY**

- © *A.N. Bormotov*, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © *E.A. Kolobova*, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © *M.V. Kuznetsova*, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Предлагается методология математического моделирования композитов, основанная на методах построения нелинейных математических моделей структурных уровней композита, обеспечивающая решение задач математического моделирования и многокритериального синтеза наномодифицированных экологически чистых композитов, полученных из отходов нефтеперерабатывающей отрасли.

Ключевые слова: математическое моделирование, управление качеством, многокритериальный синтез, композиционные материалы, структурообразование, оптимизация структуры и свойств, экология в химии и нефтехимии.

Proposes a methodology of mathematical modeling of composites, based on the methods of constructing nonlinear mathematical models of structural levels of the composite, which provides the solution of problems of mathematical modeling and multi-criteria synthesis of nano-modified eco-friendly composites produced from waste oil refining industry.

Key words: mathematical modeling, quality management, multi-criteria synthesis, composite materials, optimization of the structure and properties, the environment in the waste oil refining industry.

E-mail: aleks21618@yandex.ru, bel-eka@yandex.ru, kmvni@yandex.ru

¹Работа выполнена при поддержке гранта “Математическое моделирование и многокритериальный синтез наномодифицированных композиционных материалов”. – ГК № 14.740.11.1066 от 24.05.2011 г. / ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг.; рук. Бормотов А.Н. – № ГР 01202173144.

Многолетний процесс накопления теоретических и практических знаний об отдельных материалах и технологиях достиг такой интенсивности, что назрела настоятельная необходимость качественной трансформации и систематизации этих знаний в рамках *единой методологической системы* с применением последних достижений информатики, кибернетики, вычислительных методов, математики, физики, химии и других фундаментальных наук.

Для решения задачи систематизации и обобщения теории и практики моделирования композиционных материалов (КМ) в работе предлагается *система компьютерно-имитационного моделирования композитов* (рис. 1), включающая в себя методологические принципы моделирования различных структур КМ, методики проведения численного и натурного эксперимента, методы моделирования макроструктуры композита с учётом моделирования микроструктуры, а также алгоритмы и комплексы программ, обеспечивающие получение эффективной технологии синтеза композитов с заданными свойствами и параметрами структуры [1], а также технологию утилизации высокотоксичных и крупнотоннажных отходов нефтепереработки путем изготовления из них экологически чистых композитов с уникальными свойствами.

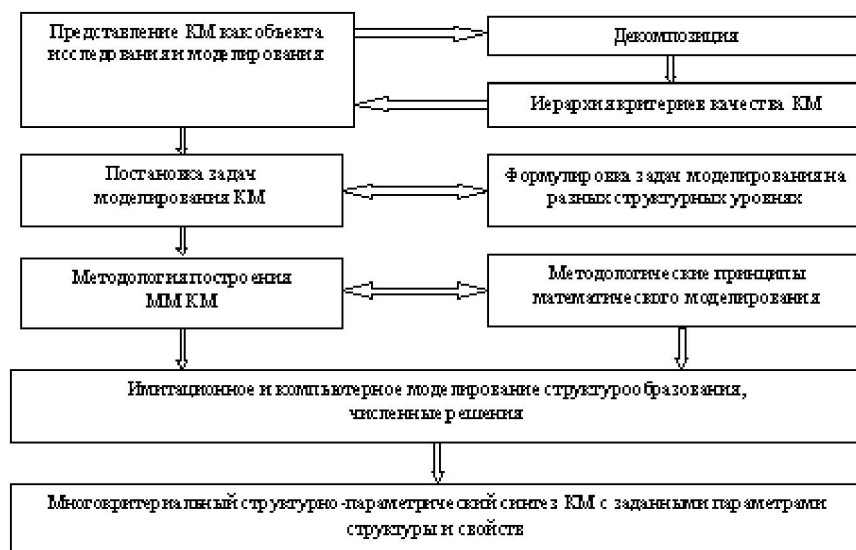


Рисунок 1 – Структура методологии математического моделирования КМ

В качестве основы построения системы компьютерного моделирования композита предлагается принять следующие методологические принципы (рис. 2):

1. Стратифицированное моделирование макроструктуры КМ на основе моделирования микроструктуры.
2. Моделирование нелинейных объектов КМ на основе многоуровневых нелинейных преобразований координат.
3. Многофакторное моделирование КМ на базе однофакторных моделей.

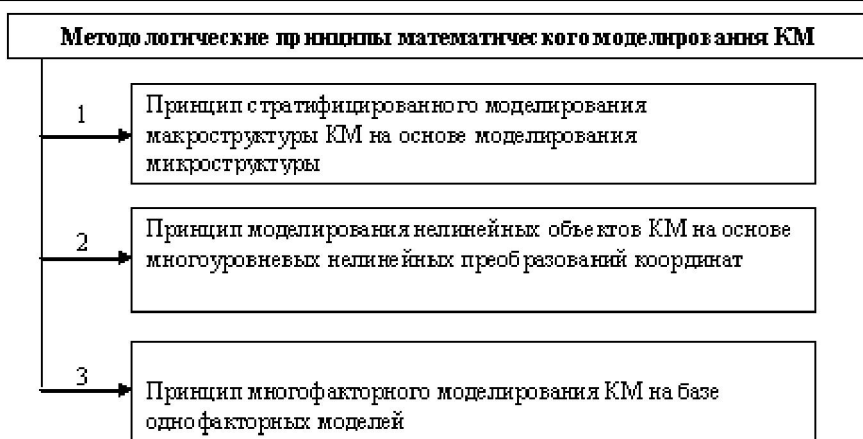


Рисунок 2 – Методологические принципы математического моделирования КМ

Принцип стратифицированного моделирования макроструктуры композиционных материалов на основе моделирования микроструктуры является классификационным фактором, методическим приемом декомпозиции методов математического моделирования по уровням моделирования композита, позволяющим направленно изменять и формировать требуемые физико-технические свойства композита на каждом структурном уровне и формировать его рациональную технологию.

В соответствии с предлагаемым принципом математическое моделирование КМ рассматривается на нескольких уровнях абстрагирования реальных процессов структурообразования КМ и представляет систему методов математического моделирования многих структур (от атомных и молекулярных до грубых макроструктур), переходящих одна в другую по принципу “структура в структуре”, определяющими из которых являются математические методы моделирования *микроуровня* и *макроуровня*.

Движение вверх по иерархии от микроуровня к макроуровню моделирования расширяет описание систем композита, позволяет представить КМ объединенной математической моделью общего вида с охватом большего числа элементов и подсистем, более общих задач моделирования. При этом при переходе к моделям макроуровня степень детализации поведения системы сокращается. В результате математическое описание становится более обобщенным. Перемещаясь вниз по иерархии от макроуровня к микроуровню моделирования проводим детализацию первоначального общего представления о сложной системе композита. При этом описание системы углубляется по мере движения от верхней математической страты (макроуровня) к последующей, более низкой (микроуровню). При этом переход к нижней страте даёт подробную картину динамики протекания технологических процессов. Для функциональной системы S в виде отображения множества входов $X = \{x_i\}$ системы на множество её выходов $Y = \{y_i\}$ получим $Y = S(X)$ (рис. 3). Наоборот, математическая модель на макроуровне

представляет информацию о поведении композита в целом в сжатой форме и объясняет взаимосвязанное поведение элементов структуры, конгломератов композита, характеризует эксплуатационные свойства композита.

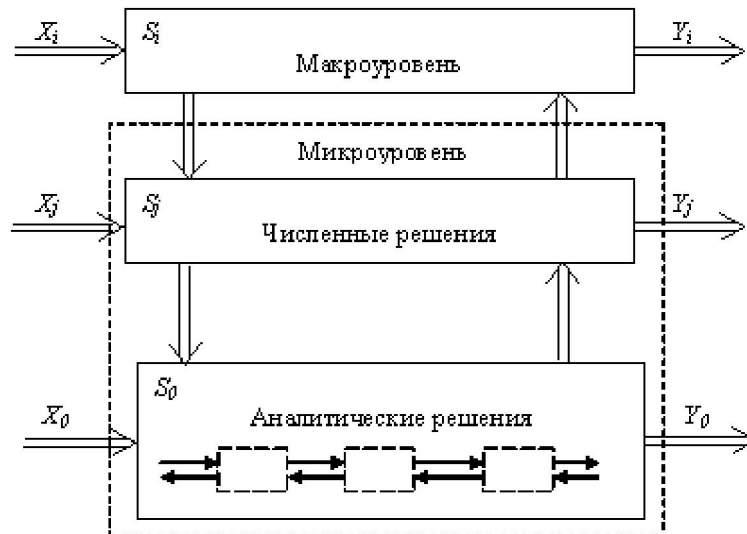


Рисунок 3 – Структура иерархической системы математических моделей

Микроуровень (низшая страта), согласно принципу стратифицированного моделирования, формируем из сочетания математических методов описания структур связующего вещества и дисперсных наполнителей, представляющих собой отходы нефтепереработки. Свойства микроструктуры КМ определяются явлениями, протекающими в контакте жидкой и твердой фаз, т.е. зависят от количества наполнителя, его дисперсности и физико-химической активности поверхности. Зависимость свойств композитов на микроуровне математического моделирования представим в виде обобщенной функции от степени наполнения, дисперсности наполнителя, интенсивности взаимодействия в контакте наполнителя с вяжущим, концентрации вяжущего и некоторых других факторов: $R = f(C_v, S, \gamma, K, P)$, где R – прочность микроструктуры композита; C_v – объемное соотношение жидкого и твердого компонентов в связующем; S – дисперсность наполнителя; γ – активность поверхности наполнителя; K – концентрация клеящего вещества; P – пористость связующего.

Методы математического моделирования на микроуровне обеспечивают исследование взаимодействия отдельных частиц вещества с точки зрения фундаментальных наук (физики, химии и т.д.) и существующих теорий и подходов: полиструктурной и кластерной теорий структурообразования, теории протекания и искусственных конгломератов [2–4].

В имитационное моделирование на микроуровне включаем моделирование следующих физических механизмов структурообразования, обусловленных множеством сочетаний структурообразующих факторов [5]: струк-

турообразование дисперсных систем (лиофобных, лиофильных и лиофильных при наличии сольватных слоев) в зависимости от степени наполнения, “сквозь-растворный” механизм структурообразования на основе химических реакций поликонденсации и полимеризации, а также топохимический механизм структурообразования на основе различных физико-химических процессов, происходящих на границе раздела твердой и жидкой фазы.

Применение принципа стратифицированного моделирования при исследовании процессов формирования микроструктуры композита обеспечивает на микроуровне математического моделирования получение численно-аналитических математических методов моделирования и моделей механизмов структурообразования композитов, методов анализа и структурно-параметрического синтеза пучка нелинейных моделей в преобразованных координатах, позволяющих повысить скорость и точность математического моделирования, обеспечивает значительное сокращение объема натурного эксперимента и получение адекватных регрессионных моделей.

Макроуровень (высшая страта), согласно принципу стратифицированного моделирования, образуем из сочетания математических методов описания структур связующих и заполнителей средних и крупных фракций и самих конгломератов. Математическое моделирование на макроуровне обусловлено необходимостью оценки КМ как единого целого и его эксплуатационных свойств и экологических характеристик. Применение детерминированных методов математического моделирования затруднено вследствие того, что свойства КМ определяются свойствами связующих и заполнителей и их количественным соотношением, плотностью упаковки заполнителей, которые, в конечном итоге, могут быть исследованы математическими методами микроуровня. Математическое моделирование на макроуровне в значительной степени основывается на кибернетическом подходе и данных натурного эксперимента.

Общая зависимость на макроуровне моделирования свойств макроконгломератов от структурных факторов при постоянной температуре представляем в виде обобщенной функции [1, 2]:

$$R_b = f\left(\frac{R_{св}}{R_{зап}}, \frac{\varepsilon_{св}}{\varepsilon_{зап}}, \frac{V_{св}}{V_{зап}}, v_{зап}, \eta\right),$$

где R_b – прочность микроструктуры композита; $\frac{R_{св}}{R_{зап}}, \frac{\varepsilon_{св}}{\varepsilon_{зап}}$ – отношения

прочностных и деформативных характеристик связующих и заполнителей (могут быть представлены в виде отношения модулей деформаций); $V_{св}, V_{зап}$ – объемные части связующего и заполнителей в композите; $v_{зап}$ – фактор, характеризующий интенсивность сцепления в контакте “связующее – заполнитель”; η – фактор упрочнения за счет уплотнения смеси заполнителей.

Методы математического моделирования на макроуровне направлены на анализ взаимодействий, возникающих между конгломератами, которые состоят из устойчивых структурных элементов – кластеров, флоккул, жидких и твердых фаз, наполнителей, модификаторов и т.д. Математическое моделирование на макроуровне состоит в получении зависимостей, определяющих соотношение компонентов, последовательность и режимы совмещения и пр., являющихся управляющими воздействиями и в определенном сочетании обеспечивающих получение композита с заданными параметрами структуры и свойств. Мерой качества математического моделирования макроструктуры композита является функция качества (функционал качества), состоящая из численно-аналитических формализованных моделей низших структурных уровней в преобразованных координатах, объединенных с использованием кибернетического и системного подходов в нелинейные многофакторные модели в виде дробно-рациональных функций, причем в числителе функционала качества располагается совокупность функций, описывающих процессы образования макроструктуры, а в знаменателе – совокупность функций, описывающих процессы разрушения макроструктуры композита.

Применение данного принципа при моделировании процессов формирования макроструктуры композита позволяет для данного структурного уровня получить систему многофакторных нелинейных моделей макроструктуры композита, являющейся основой решения и задачи многокритериального синтеза композита с заданными параметрами структуры и свойств и задачи синтеза технологии получения композита при заданных технологических ограничениях из отходов нефтепереработки.

Математическое моделирование макроструктуры КМ на основе моделирования композита на микроуровне. Математическое моделирование макроструктуры КМ на основе моделирования композита на микроуровне составляет основу исследования структурообразования композиционных материалов с использованием методов математического моделирования и позволяет разработать методику использования результатов моделирования микроструктуры при моделировании макроструктуры композита.

Моделирование структурообразования композита начинается на элементарном уровне взаимодействий частиц вещества и входит в микроуровень моделирования микроструктуры КМ как аналитические качественные модели и методы моделирования элементарных взаимодействий, основанных на фундаментальных законах физики, химии и др. наук. Моделирование микроуровня является имитационным, математические методы и алгоритмы которого обеспечивают моделирование определенных физических механизмов структурообразования, в основе которых лежат аналитические решения и модели. При моделировании структурообразования конгломератов вещества на макроуровне моделирования применяемые методы математического моделирования направлены на построение моделей в виде дробно-рациональных функций, составляющие которых представляют собой “пучки” функций, построенные на основе численно-аналитических ме-

тодов и моделях структур на микроуровне моделирования. Результаты моделирования на микроуровне подвергаются определенным многоуровневым преобразованиям и входят в модели макроуровня уже в преобразованных координатах. Оценка качества моделирования макроуровня производится при помощи специальных функций качества композита.

Наличие противоречия между методами моделирования общих свойств КМ и параметров структуры и технологии микроструктуры порождает проблему *перехода от моделей микроуровня моделирования к моделям макроуровня моделирования композитов*, а также проблему создания методов математического моделирования макроструктуры с учетом результатов моделирования микроструктуры композита. Предлагаемый принцип позволяет решить указанные проблемы моделирования и разрешить указанные противоречия.

Принцип моделирования нелинейных объектов композиционных материалов на основе многоуровневых нелинейных преобразований координат. Одним из наиболее трудоёмких этапов обработки экспериментально-статистической информации является синтез математических моделей (ММ) и выбор вида функциональных зависимостей. Общие формализованные методы такого выбора до настоящего времени не разработаны [6]. Аппроксимация полиномиальными моделями не отражает физической сущности протекающих в КМ процессов и не является адекватной при математическом описании структур композитов. Поэтому в данной работе предлагаются решения задач систематизации функциональных зависимостей, синтеза функционально полных и линейно независимых наборов функций, нахождения эффективных оценок, а также разработки методов и методик построения и выбора вида ММ для КМ специального назначения.

Предлагается *общий подход построения математических моделей композитов*, основу которого составляют три следующих [1, 7]:

- систематизация ММ микроструктуры композита (базисных функций) по видам преобразования координат;
- многоуровневый синтез и выбор пакетов функциональных зависимостей для микро- и макроуровней моделирования структуры композитов;
- получение состоятельных, несмещённых и эффективных оценок ММ в преобразованных координатах с целью их дальнейшего использования при построении многофакторных моделей макроструктуры композита.

Для обеспечения автоматического выбора структуры ММ совокупность моделей должна удовлетворять двум противоречивым требованиям: содержать все возможные ММ с использованием заданных функциональных преобразований и не иметь моделей с одинаковыми типами функциональных преобразований. Совокупность моделей на заданном наборе нелинейных преобразований координат, удовлетворяющих сформулированным требованиям, назовём *функционально полным набором моделей*.

Предлагается *метод структурно-параметрического синтеза моделей* по видам преобразования координат, суть которого состоит в формировании функционально-полных наборов пакетов ММ по заданным видам

функциональных преобразований $\psi(x)$ и $\phi(y)$ определённого x и результативного y признаков:

$$\left. \begin{matrix} \phi(y) \\ \psi(x) \end{matrix} \right\} \Rightarrow y = \phi^{-1}(a_0 + a_1\psi(x)),$$

и в организации для каждого пакета множества линейно-зависимых ММ:

$$\phi^{-1}(a_0 + a_1\psi(x)) = \{f_i(a_0 + a_1x)\},$$

наиболее полно отражающих физические закономерности исследуемого объекта.

Предлагаемый метод синтеза ММ может быть представлен следующими преобразованиями:

$$\left. \begin{matrix} \phi(y) \\ \psi(x) \end{matrix} \right\} \Rightarrow y = \phi^{-1}(a_0 + a_1\psi(x)) = \{f_i(a_0 + a_1x)\}.$$

С целью расширения набора функций и возможностей учёта различных нелинейностей в моделях предлагается проводить синтез моделей с многократным использованием одних и тех же видов преобразования координат:

$$\left. \begin{matrix} \phi_n(\phi_{n-1}(\dots\phi_2(\phi_1(y)))) \\ \psi_m(\psi_{m-1}(\dots\psi_2(\psi_1(x)))) \end{matrix} \right\} \Rightarrow y = \phi_n^{-1}(\dots\phi_2^{-1}(\phi_1^{-1}(a_0 + a_1\bar{\psi}(x)))).$$

Здесь n и m – количество уровней преобразований результативного и определённого признаков.

Разработанный метод позволяет проводить обоснованный выбор функциональных зависимостей, описывающих процессы структурообразования и набора эксплуатационных свойств композитов, и преобразовывать их к виду, в котором их в дальнейшем можно использовать для получения многофакторных моделей описания образования макроструктуры композита и построения функционала качества конгломерата композита при многокритериальном синтезе КМ из отходов химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Принцип многофакторного моделирования композиционных материалов на базе однофакторных моделей. В настоящее время в практике моделирования композиционных материалов наиболее широко используются однофакторные модели, построенные по данным однофакторных экспериментов, в то время как параметры технологии, макроструктуры и свойств КМ определяются совокупностью множества факторов. Это делает необходимым применение для моделирования на макроуровне математических методов, позволяющих строить многофакторные модели, которые адекватно учитывают одновременное воздействие множества структурообразующих факторов. Прямое использование стохастических моделей, методов планирования эксперимента приводит к получению полиномиальных математических моделей, коэффициентами в которых являются абстракт-

ные величины, не связанные с реальными физическими параметрами процесса, что затрудняет анализ модели и поиск оптимальных режимов, а аппроксимация нелинейных многофакторных ММ приводит к необходимости либо при получении модели с заданной точностью проведения большого объема экспериментов, либо к получению математических зависимостей, описывающих экспериментальные данные с большой погрешностью.

В соответствии с предлагаемым принципом многофакторного моделирования математические модели микроуровня моделирования композита входят в модели макроуровня моделирования макроструктуры композита как составные части, подвергаясь при этом определенным преобразованиям, которые позволяют привести модели микроуровня к линейному виду и сформировать из них многофакторную модель.

При составлении многофакторных моделей необходимо учитывать, что на микроуровне присутствуют математические модели разных типов – аналитические детерминированные модели, имеющие максимальную точность в середине области состояний, и регрессионные модели, построенные по определенным планам, имеющие максимальную точность на краях области состояний. В связи с этим предлагается использовать два разных метода объединения однофакторных моделей в многофакторные:

- 1) метод построения многофакторных моделей на основе многоуровневых преобразований координат;
- 2) метод построения многофакторных нелинейных моделей на основе выбора моделей из “пучка” линеаризованных функций по краевым точкам.

Первый метод применяется к центральной области пространства состояний и состоит в подборе для каждого фактора (параметра) вида преобразования координат, приводящего исходные ММ к линейным. При этом вид преобразования выходной координаты (результативного признака y) выбираем одинаковым для всего семейства однофакторных зависимостей и проводим расчет однофакторных зависимостей. Исходя из условий экспериментального получения однофакторных зависимостей и удобства анализа, выбираем базисную точку, определяем значения коэффициентов многофакторной модели из условия равенства с соответствующими им коэффициентами однофакторных моделей и составляем многофакторную модель.

Второй метод применяется к крайним областям пространства состояний и состоит в том, что на одном и том же наборе экспериментальных данных строится множество (“пучок”) дробно-рациональных функций, проводится усреднение результатов по ряду моделей путем взвешенного суммирования с учетом удаления точек спектра плана от центра области планирования на основании того, что изменения функций отклика вдоль ребер гиперкуба, задающего область планирования, всегда описываются линейными зависимостями. Построение многофакторных моделей по краевым точкам области планирования и пространства состояний осуществляем на основе базисных функций, полученных кронекеровским произведением функций однофакторных экспериментов, при этом усреднение проводим с учетом координат краевых точек.

Предлагаемый принцип многофакторного моделирования на базе однофакторных моделей позволяет сократить количество необходимых исследований, повысить точность ММ, а также дает возможность использовать при построении многофакторных ММ уже накопленный однофакторный экспериментально-статистический материал.

Рассмотренные теоретические основы математического моделирования композиционных материалов, включающие методологические принципы математического моделирования композиционных материалов, методы моделирования структурных уровней композита, численные и аналитические методы построения многофакторных моделей легли в основу создания системы компьютерно-имитационного моделирования композитов в виде комплекса программ, обеспечивающей решение задач математического моделирования и многокритериального синтеза композитов с заданными свойствами и параметрами структуры. Апробация системы при синтезе композитов из отходов нефтеперерабатывающей промышленности специального назначения показала её высокую эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бормотов А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов специального назначения : Дис. ...д-ра техн. наук: 05.13.18: защищена 22.12.2011: утверждена 30.08.2012. – Пенза, 2011. – 316 с.
2. Соломатов В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов // Новые композиционные материалы в строительстве. – Саратов : СПИ, 1981. – С. 9.
3. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение : Учеб. пособие для строит. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 2002. – 701 с.
4. Бобрышев А.Н. Синергетика композиционных материалов / А.Н. Бобрышев, В.Н. Козомазов, Л.О. Бабин, В.И. Соломатов. – Липецк : НПО ОРИУС, 1994. – 152 с.
5. Бормотов А.Н. Теоретические основы компьютерного моделирования структурообразования дисперсных систем / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17. – №. 2. – С. 542–551.
6. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М. : Высшая школа, 2001. – 343 с.
7. Бормотов А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, Е.В. Королёв. – Пенза : ПГТА, 2011. – 354 с.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД В ПРОСТРАНСТВЕ ВЕКТОРА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

© *И.А. Прошин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *П.В. Сюлин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

QUALITY ASSESSMENT OF SEWAGE IN SPACE VECTOR ENVIRONMENTAL SAFETY

© *I.A. Proshin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *P.V. Siulin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Получены формулы для представления результатов исследования экологического состояния технических объектов в пространстве вектора экологической безопасности и выражения, связывающие экологическое состояние системы с минимально-допустимой эффективностью очистки экологических объектов. Методика анализа качества многокомпонентных систем в пространстве вектора экологической безопасности рассмотрена на примере анализа качества сточных вод промышленного предприятия.

Ключевые слова: методика, модель, пространство экологического состояния, экологическая безопасность, экосистема.

The formulas for the presentation of the results of technical studies the ecological state of objects in space vector environmental safety and expressions relating to the environmental condition of minimally acceptable removal efficiency of environmental objects. The method of analysis of multi-component systems, the quality of the space vector environmental safety discussed by analyzing the quality of waste water industrial enterprise.

Key words: methodology, model, space environmental conditions, environment, ecosystem.

E-mail: proshin.Ivan@inbox.ru

Проблемы наблюдения, контроля, мониторинга и управления экологическим состоянием промышленных предприятий, формирование требований на проектирование технологий очистки атмосферы, воды, почвы и других составных частей экосистем обуславливают необходимость применения единых показателей, отражающих состояние исследуемого объекта и являющихся основой для решения разнообразных задач обеспечения экологической безопасности.

В качестве такой универсальной оценки для каждого экологического показателя предлагается ввести коэффициент экологической безопасности (КЭБ), отражающий запас по экологической безопасности для каждого оцениваемого показателя и вычисляемый по следующим формулам:

1) для показателей x_i , задаваемых предельно-допустимыми значениями (ПДК) $x_{п.-д}$, ограничивающими их наибольшие значения $x_i \leq x_{п.-д}$, $x_i \in [0, c_i]$

$$z_i = \frac{c_i - x_i}{c_i};$$

2) для показателей x_i , задаваемых предельно-допустимыми значениями $x_{п.-д} = c_i$, ограничивающими их наименьшие значения $x_i \geq x_{п.-д}$, $x_i \in [c_i, x_{\max}]$,

$$z_i = \frac{(x_i - 2c_i + d_i) - |x_i - d_i|}{2(d_i - c_i)}, \text{ где } d_i = x_{\max i};$$

3) для показателей x_i , задаваемых предельно-допустимыми значениями, ограничивающими их наименьшие и наибольшие значения $x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max}$, $x_i \in [a_i, b_i]$

$$z_i = 1 - \frac{|(d_{1i} - d_{0i}) - (1 - 2d_{0i})|(d_{2i} - 1 + d_{0i})|}{2d_{0i}(1 - d_{0i})},$$

где относительные переменные d_{1i} и d_{2i} , характеризующие отклонения текущего значения показателя x_i от предельных минимально a_i и максимально b_i допустимых значений, вычисляют по формулам:

$$d_{1i} = \frac{x_i - a_i}{b_i - a_i}; \quad d_{2i} = \frac{b_i - x_i}{b_i - a_i},$$

а составляющая d_{0i} задаёт в относительном виде предпочтительное значение показателя x_{0i}

$$d_{0i} = \frac{x_{0i} - a_i}{b_i - a_i}.$$

Полученные КЭБ по каждому показателю объединяем в n -мерный вектор экологической безопасности (ВЭБ) для каждой части экосистемы.

$$\eta = [\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n]^T,$$

где n – количество показателей, оценивающих экологическое состояние соответствующей части экосистемы или экосистему в целом.

Введённый коэффициент экологической безопасности – это мера запаса экологической безопасности системы относительно предельно-допустимого состояния как по отдельным компонентам, так и в целом для экосистемы. Пространство вектора экологической безопасности объединяет две

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД В ПРОСТРАНСТВЕ ВЕКТОРА ...

области. Область положительных значений КЭБ с максимальным соответствующим идеальной системе значением, равным единице, и область отрицательных значений КЭБ для экологически-опасных систем. Граница областей – нулевое значение КЭБ – соответствует системе с показателями, имеющими предельно-допустимые значения.

Любая экосистема представляет собой динамический процесс с большим количеством разнообразных взаимосвязей, часть из которых при наблюдении, мониторинге, контроле и управлении учитывать невозможно или нецелесообразно. Поэтому полные исследования экосистем необходимо проводить с использованием методов статистической обработки информации на базе современных информационных технологий [1–6], научно-методических принципов организации систем мониторинга и контроля качества окружающей среды.

В качестве примера проведём в пространстве вектора экологической безопасности оценку качества сточных вод, поступающих на очистные сооружения ООО “Завод–Новатор” (г. Белгород) [7] (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав сточных вод, поступающих на очистные сооружения ООО “Завод–Новатор”

№	Определяемый ингредиент	Ед. изм.	ПДК	До очистки			После очистки		
				x_i	η_i , отн.	$\overline{E0}$, %	x_i	η_i , отн.	$\overline{E}$, %
1	Водородный показатель	pH	6,5–8,5	6,2	–0,3	23,1	8,2	0,3	46,2
2	Сульфаты	мг/л	500	402,5	0,195	0	71,3	0,857	89,3
3	Сухой остаток	мг/л	1000	3000	–2	66,7	508	0,492	83,1
4	Взвешенные вещества	мг/л	0,25	930	–3719	1	930	–3719	0
5	Никель	мг/л	0,1	23	–229	99,6	0,3	–2	92,7
6	Медь	мг/л	1,0	12	–11	91,7	0,1	0,9	99,2

Определим требования к минимально-допустимой эффективности очистки $E0_i$ сточных вод (до очистки) по каждой компоненте вектора экологической безопасности $\overline{\eta n}$

$$\overline{\eta n} = [-0,3 \quad 0,195 \quad -2 \quad -3719 \quad -229 \quad -11]^T$$

по формуле

$$E0_i = \frac{3_i}{3_i - 1}.$$

Получим

$$\overline{E0} = [0,231 \quad 0 \quad 0,667 \quad 1 \quad 0,996 \quad 0,917]^T.$$

По всем ингредиентам сточных вод, кроме сульфатов, требуется очистка большой эффективности.

Вычислим эффективность очистки, используемой в ООО “Завод–Новатор” в соответствии с формулой

$$E_i = \frac{3n_i - 3k_i}{3n_i - 1}.$$

Состояние вектора безопасности после очистки $\overline{\eta k}$ принимает значение

$$\overline{\eta k} = [0,3 \quad 0,857 \quad 0,492 \quad -3719 \quad -2 \quad 0,9]^T.$$

Для перевода состояния сточных вод, в заданное вектором $\overline{\eta k}$, эффективность очистки составила

$$\overline{E} = [0,462 \quad 0,893 \quad 0,831 \quad 0 \quad 0,927 \quad 0,992]^T.$$

Анализ полученных результатов показывает, что по взвешенным веществам эффективность очистки равна нулю, по всем остальным, кроме никеля, эффективность очистки на ООО “Завод–Новатор” выше, чем требуемая и задаваемая вектором $\overline{E0}$.

На рисунке 1 приведена лепестковая диаграмма состояния сточных вод в пространстве вектора экологической безопасности.

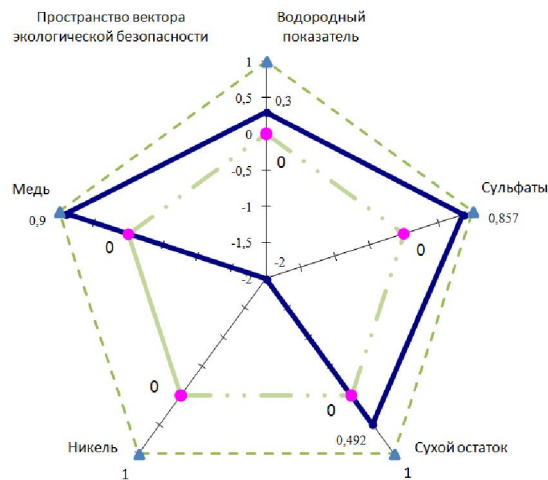


Рисунок 1 – Лепестковая диаграмма коэффициента экологической безопасности системы с показателями, заданными в таблице 1 после очистки

Пространство вектора экологической безопасности разделено линиями, соответствующими идеальной системе ($\overline{\eta} = [1, 1, 1, 1, 1]^T$) и системе с предельно-допустимыми показателями ($\overline{\eta} = [0, 0, 0, 0, 0]^T$) на две области.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД В ПРОСТРАНСТВЕ ВЕКТОРА ...

Область с положительными значениями КЭБ соответствует объектам с запасом экологической безопасности, изменяющимся в интервале от 0 до 1. В этой области находятся все показатели, кроме КЭБ по никелю.

Вторая область соответствует объектам, у которых КЭБ меньше нуля. В этой области системы не только не имеют запаса экологической безопасности, но и значения этих показателей значительно превышают предельно-допустимые.

Коэффициент экологической безопасности для никеля имеет отрицательное значение $z_4 = -2$, что означает трёхкратное превышение предельно-допустимых концентраций никеля в сточных водах.

Отличительная особенность представления состояния исследуемого объекта в пространстве состояний вектора экологической безопасности состоит в том, что каждому состоянию экологической системы соответствует вектор, однозначно определяющий запас по экологической безопасности для каждой компоненты системы. В отличие от показателя эффективности, который не определяет свойства самого объекта, КЭБ позволяет оценить состояние системы, определить её место относительно идеальной системы и системы с предельными показателями, вычислить требуемую эффективность очистки по отдельным ингредиентам.

Действительно, эффективность очистки сточных вод по никелю составляет $E_4 = 92,7\%$, что значительно превышает эффективность по всем другим ингредиентам, кроме меди. Однако это вовсе не означает, что по этой компоненте показатель соответствует требуемому значению $E_{04} = 99,6\%$. Вместе с тем, КЭБ по каждой компоненте, в том числе и по никелю, не просто характеризует требуемую эффективность, но и определяет как качественно, так и количественно её состояние.

В таблице 2 приведены результаты испытаний и расчётов по очистке сточных вод ООО «Завод-Новатор» с применением термически модифицированного дефека.

**Таблица 2 – Результаты испытаний и расчётов
по очистке сточных вод**

№	Определяемый ингредиент	Ед. изм.	ПДК	До очистки			После очистки		
				x_i	η_i , отн.	$\bar{E}_0$, %	x_i	η_i , отн.	$\bar{E}$, %
1	Никель	мг/л	0,1	0,3	-2	66,7	0,001	0,99	99,7
2	Медь	мг/л	1,0	0,1	0,9	0	0,003	0,997	97
3	ХПК	мг/л	15	324,2	-20,61	95,4	96,4	-5,427	70,3
4	Сульфаты	мг/л	500	427,0	0,146	0	5,68	0,989	98,7
5	Жиры	мг/л	5,65	1,6	0,717	0	0,4	0,929	75
6	Взвешенные вещества	мг/л	0,25	962,3	-3847	100	362,7	-1450	62,3
7	Нефтепродукты	мг/л	0,3	11,6	-37,67	97,4	3,92	-12	66,2
8	СПАВ	мг/л	0,1	1,5	-14	93,3	0,39	-2,9	74

Анализ полученных результатов показывает, что использование данной технологии очистки позволяет не только существенно повысить эффективность очистки сточных вод от тяжёлых металлов (никель $\bar{E} = 99,7\%$, медь $\bar{E} = 97\%$), но и обеспечивает значительный запас по экологической безопасности очищенных сточных вод по этим компонентам (никель $z_1 = 0,99$, медь $z_1 = 0,997$). Одновременно повышается экологическая безопасность и по другим компонентам.

На рисунке 2 приведена лепестковая диаграмма состояния сточных вод после их очистки с применением термически модифицированного дефеката в пространстве компонент вектора экологической безопасности, имеющих положительные значения КЭБ.

Как видно из диаграммы, начальное состояние сточных вод по никелю и сульфатам определяется значительными отклонениями от идеальных с КЭБ, равным единице. Экологическое состояние сточных вод после очистки близко к идеальной системе, кривая КЭБ компонент системы практически совпадает с границей области экологической безопасности (максимальные отклонения не превышают 8 %).

Для компонент с отрицательными значениями КЭБ необходима дополнительная водоочистка с минимально-допустимой эффективностью очистки E_0 сточных вод, задаваемых вектором с эффективностями для четырёх компонент: ХПК, взвешенных веществ, нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ (даны в процентах)

$$\bar{E}_0 = [84,4 \quad 99,9 \quad 92,3 \quad 74,4]^T.$$

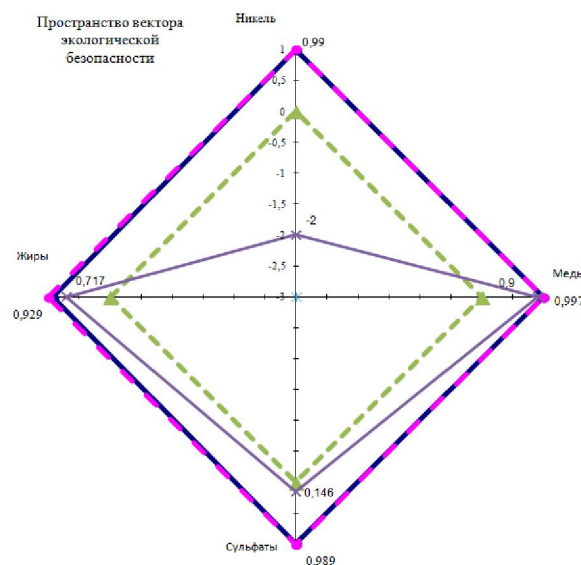


Рисунок 2 – Лепестковая диаграмма коэффициента экологической безопасности системы с показателями, заданными в таблице 2

Таким образом, результаты исследований на примере оценки состояния и эффективности очистки сточных вод ООО “Завод–Новатор” свидетельствуют о высокой действенности предлагаемой методики анализа экологических систем в пространстве вектора экологической безопасности, позволяющей построить фазовый портрет состояний экологической безопасности в пространстве эталонной системы, оценить экологичность исследуемого объекта и требуемые показатели эффективности, определить эффективность технологий водоочистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прошин И.А., Сюлин П.В., Таранцев К.В. Системная организация научных исследований экосистем // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс* : Научно-методический журнал. – 2012. – № 02(06). – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – С. 166–170.
2. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Структурно-параметрический синтез математических моделей объектов исследования по экспериментальным данным // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. – 2009. – № 1. – С. 110–115. – (Морская техника и технология).
3. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Построение математических моделей в задачах обработки экспериментально-статистической информации // *Известия Самарского научного центра РАН. Авиационно-космическое машиностроение*. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2012. – Т. 14. – № 1(2). – С. 425–428.
4. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Автоматизированная обработка информации в системах управления технологическими процессами : Монография. – Пенза : ПГТА, 2012. – 380 с.
5. Прошин И.А., Левин В.И., Рыжаков В.В. Интегрированный комплекс сетевых автоматизированных лабораторий как инструмент повышения экологической безопасности промышленных предприятий // *Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского*. – 2011. – № 26. – С. 609–614.
6. Прошин И.А., Коновалов В.В. Построение математических моделей эффективности очистки сточных вод гальванического производства // *Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского*. – 2011. – № 26. – С. 615–620.
7. Лупандина Н.С. Очистка сточных вод от ионов тяжёлых металлов отходами производства дисахаридов : Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Пенза : Пенз. гос. технол. акад., 2012. – 24 с.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ РИСА

- © *А.Х. Шеуджен, ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт риса (г. Краснодар, Россия)*
© *О.А. Гуторова, ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт риса (г. Краснодар, Россия)*
© *Н.И. Аканова, ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (г. Москва, Россия)*

EVALUATION OF QUALITY OF WATER USED FOR RICE IRRIGATION

- © *A.Kh. Sheudzhen, SSI All-Russian Rice Research Institute (Krasnodar, Russia)*
© *O.A. Gutorova, SSI All-Russian Rice Research Institute (Krasnodar, Russia)*
© *N.I. Akanova, SSI All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry after D.N. Pryashnikov (Moscow, Russia)*

По результатам исследований изучены качество воды р. Кубань и её пригодность для орошения культуры риса. Установлено, что вода р. Кубань, с учётом максимальных концентраций загрязняющих органических веществ, характеризуется как “умеренно-загрязнённая” и “загрязнённая”, третьего и четвёртого класса качества и по химическому составу пригодна для орошения риса.

Ключевые слова: р. Кубань, оросительный канал, растворённый кислород, биохимическое потребление кислорода.

According to results of research quality of water in Kuban River and its availability for rice irrigation was studied. It was found out that water from Kuban River if taking into consideration maximum concentration of contaminative organics can be characterized as “moderate contaminated” and “contaminated”, of third and forth degree of quality and according to its chemical make-up is acceptable for rice irrigation.

Key words: Kuban River, irrigating channel, dissolved oxygen, biochemical consumption of oxygen.

E-mail: oksana.gutorova@mail.ru

Водные ресурсы, их количественное и качественное состояние играют важную роль в обеспечении устойчивого социально-экономического развития Краснодарского края, который располагает значительным водным потенциалом. По данным Кубанского бассейнового водного управления в крае насчитывается 7751 река общей протяжённостью 29125 км, 1090 озёр и лиманов, 3 больших водохранилища и более 2 тыс. мелких водохранилищ и прудов. Река Кубань относится к категории крупных рек общей длиной 870 км и водосборной площадью 57900 км². Она является основным источником водоснабжения рисовых оросительных систем Краснодарского края. Водоснабжение рисовых систем на 22 % обеспечивается за счёт ёмкости водохранилища и на 78 % за счёт стока р. Кубани в поливной период (июль–сентябрь). Водность реки в этот период в основном определяет степень водообеспеченности рисовых систем оросительной водой [2, 5].

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ РИСА

Целью данной работы являлась оценка качества воды для орошения риса по содержанию неорганических соединений, растворённого кислорода и легкоокисляемых органических веществ.

Объекты исследования – вода р. Кубани и вода рисовой оросительной системы опытно-производственного участка ГНУ ВНИИ риса. По геоморфологическому районированию дельты р. Кубань территория исследуемых объектов входит в стародельтовый район [1]. Пробы воды из р. Кубани отбирали 1-2 раза в месяц в поверхностном горизонте до 12 часов дня. На рисовой системе отбор проб воды из оросительного канала проводили в течение всего вегетационного периода риса.

Содержание легкоокисляемых органических веществ определяли по биохимической потребности кислорода за 5 суток (БПК₅) с использованием манометрической системы OxiTop® - MeЯsystem фирмы WTW [9]. Определение содержания неорганических анионов (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻) проводили на ионном хроматографе ICS-2000 корпорации Dionex, катионов (Na⁺, K⁺, Ca²⁺) – на пламенном фотометре PFP 7 фирмы Buck Scientific. Концентрацию растворённого в воде кислорода определяли оксиметром Oxi 340i фирмы WTW, общую минерализацию – кондуктометром S 30 фирмы Mettler Toledo. Водородный показатель определяли на портативном измерителе pH/EC/TDS/температуры HI 991301 фирмы HANNA Instruments.

В соответствии с требованиями к составу и свойствам поверхностных вод содержание растворенного кислорода в пробе, отобранной до 12 часов дня, не должно опускаться ниже 4 мг/л в любой период года. Проведённые исследования показали, что кислородный режим р. Кубани в поливной период для возделывания риса был удовлетворительным. Степень насыщения воды кислородом летом варьировала от 78 до 93 %, или 6,42-7,20 мгО₂/л, а к осени увеличивалась до 94-100 %, или 8,35-9,60 мгО₂/л (рис. 1).

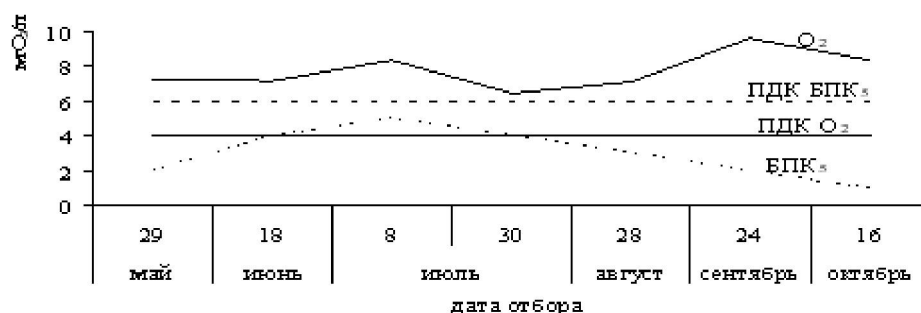


Рисунок 1 – Концентрация растворенного кислорода и величина БПК₅ в воде р. Кубани

Изменения концентраций растворенного кислорода в воде тесно связано с величиной биохимического потребления кислорода. Показатель БПК, как правило, характеризует содержание легкоокисляющихся органических веществ и широко используется для оценки загрязнённости поверхностных вод. В зависимости от категории водоёма величина БПК₅ регламентируется

не более 3 мг O_2 /л для хозяйственно-питьевого водопользования и не более 6 мг O_2 /л для хозяйственно-бытового и культурного водопользования [8].

В пробах воды р. Кубани наблюдались весьма значительные изменения значений БПК₅. Анализ воды показал, что величина БПК₅ составила весной 2 мг O_2 /л, летом колебалась от 3 до 5 мг O_2 /л, а осенью была в пределах 1–2 мг O_2 /л (рис. 1). По степени загрязнения органическими веществами вода р. Кубани в весенний и осенний период характеризовалась как “умеренно-загрязнённая”, а в летний как “грязная”. В период орошения риса (с мая по август) вода характеризовалась как “загрязнённая”.

Общая минерализация воды р. Кубани с мая по август варьировала от 141 до 157 мг/л. Осенью она повышалась и одновременно увеличивалась концентрация компонентов в ионном составе. Активность водородных ионов изменялась в небольшом интервале от 7,42 до 7,87 ед.

Результаты химического анализа проб воды р. Кубани показали (рис. 2), что концентрация неорганических соединений не превышала ПДК культурно-бытового водопользования (ПДК_{к-б}). Среди анионов преобладал сульфат-ион, в небольших количествах присутствовал хлорид-ион. Их содержание увеличивалось весной и осенью в 2-3 раза. Максимальная концентрация нитратов и фосфатов наблюдалась осенью в результате поступления со сточными водами. В катионной группе преобладали ионы натрия и кальция. Летом их концентрация в воде реки была не выше 30 мг/л, а осенью повышалась до 40-54 мг/л.

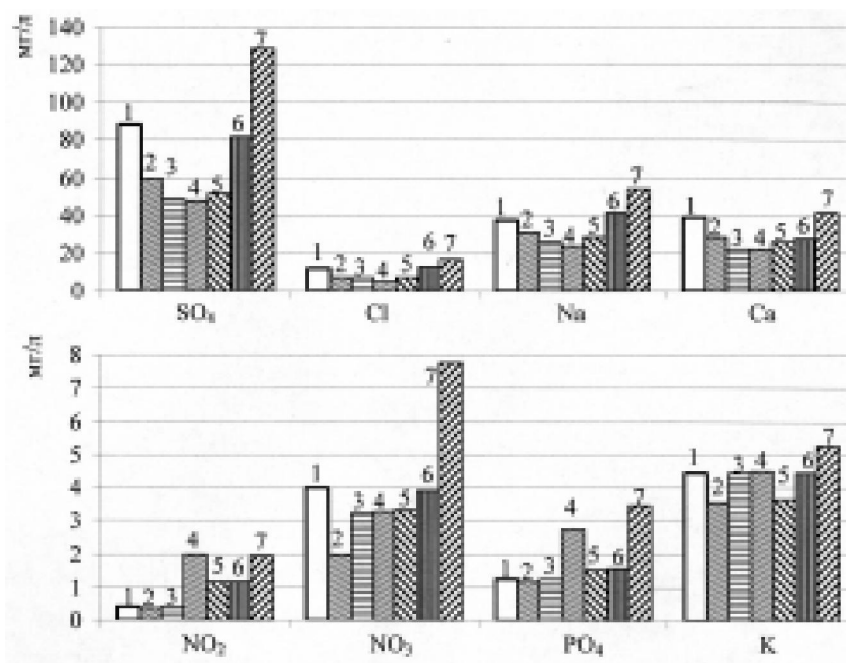


Рисунок 2 – Химический состав воды р. Кубани: 1 – 29 мая; 2 – 18 июня; 3 – 8 июля; 4 – 30 июля; 5 – 28 августа; 6 – 24 сентября; 7 – 16 октября

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ РИСА

Реки и водохранилища Краснодарского края, являющиеся водоисточником орошения риса, различаются по содержанию микроэлементов. Анализ воды р. Кубани показал, что в ней содержится без превышения ПДК_{к-б} достаточно много бора (88 мкг/л), значительно меньше марганца и цинка (16 и 9 мкг/л, соответственно), еще меньше меди (1,6 мкг/л). Содержание молибдена и кобальта в воде незначительное (1,8 и 1,6 мкг/л, соответственно), что связано с низкой обеспеченностью почвообразующих пород и почв этими микроэлементами [6].

Наши исследования показали, что вода в оросительном канале сильно не отличалась от воды р. Кубани по химическому составу, содержанию растворенного кислорода и органических веществ (рис. 3). Кислородный режим поливной воды в период вегетации риса складывался удовлетворительно. Содержание растворенного кислорода составило в среднем 7,70 мгО₂/л. Низких значений концентраций кислорода в воде оросительного канала не отмечено. Лишь в мае, в начале первых дней поступления воды на рисовую систему, была зафиксирована более низкая концентрация кислорода (5,22 мг/л) и более повышенная величина БПК₅ (7 мгО₂/л). Это связано, прежде всего, с загрязнением труб оросительного канала. Летом насыщение воды кислородом достигало 87 %, а содержание органических веществ, определяемых по БПК₅, составило 4-5 мгО₂/л.

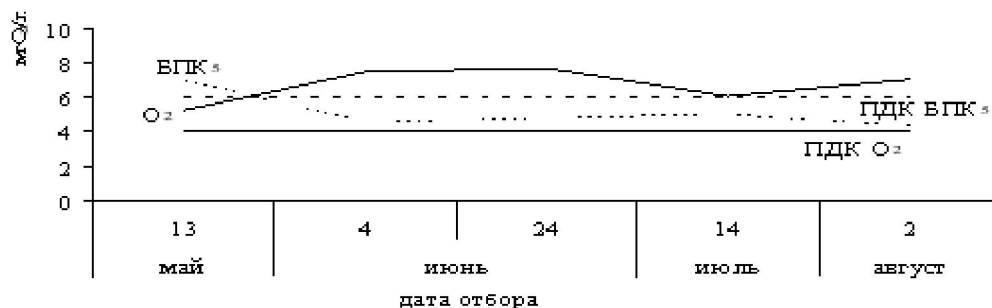


Рисунок 3 – Концентрация растворенного кислорода и величина БПК₅ в воде оросительного канала

Общая минерализация воды является доминирующим ирригационным показателем при орошении. Оросительная вода имеет ограничения в использовании при орошении сельскохозяйственных культур: если содержание натрия и хлора составляет более 3 и 4 мг-экв/л, соответственно, нитратов более 5 мг/л, активность ионов водорода менее 6,5 или более 8,4 ед. [3, 4]. Вода в оросительном канале характеризовалась минерализацией в среднем 174 мг/л и слабощелочной реакцией (7,75 ед.). По своему химическому составу она сильно не отличалась от воды реки Кубани в течение всего периода наблюдений (рис. 4).

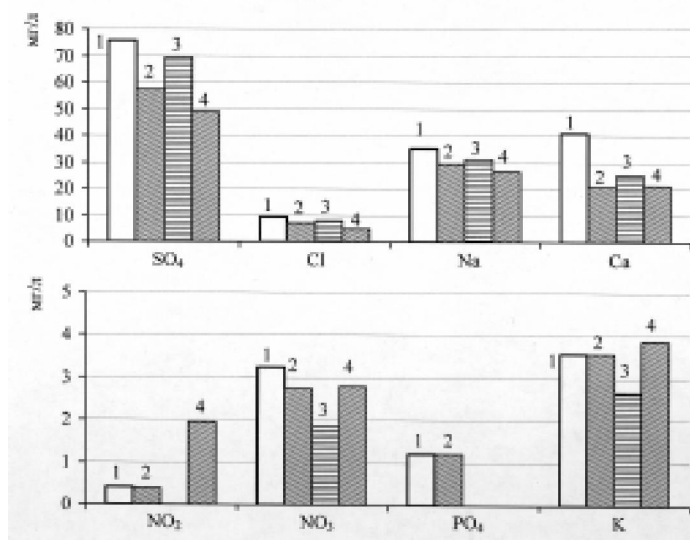


Рисунок 4 – Химический состав воды оросительного канала: 1 – 4 июня; 2 – 24 июня; 3 – 14 июля; 4 – 2 августа

Наибольшие концентрации большинства неорганических ионов были обнаружены в начале оросительного периода. В этот период их повышенное содержание отмечалось и в реке Кубани. В период орошения риса содержание сульфата и хлорида несколько больше в оросителе. Концентрация нитрита и фосфата в воде оросительного канала была 0,4 и 1,2 мг/л, соответственно, а в отдельные периоды эти анионы вообще отсутствовали. Содержание нитрата варьировало в пределах от 1,85 до 3,24 мг/л (рис. 4).

Известно, что оросительная вода служит источником микроэлементов для питания растений риса. Расчёты показали, что при оросительной норме, равной 14 тыс. м³ на гектар, на рисовые поля может поступать 1660 г бора, 330 г марганца, 183 г цинка, 72 г меди, 36 г молибдена и 25 г кобальта в расчёте на 1 га посевов, что превышает вынос этих микроэлементов урожаем риса. Однако большая часть их присутствует в воде в виде комплексных соединений, практически недоступных для растений риса [7].

Таким образом, вода реки Кубани, с учётом максимальных концентраций загрязняющих органических веществ, характеризуется в основном как “умеренно-загрязнённая” и “загрязнённая”, третьего и четвёртого класса качества. По химическому составу оросительная вода отвечала требованиям пригодности для орошения риса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажний Е.С. Почвы дельты реки Кубани и прилегающих пространств (их свойства, происхождение и пути рационального хозяйственного использования). – Краснодар : Краснодарское книж. изд-во, 1971. – 276 с.
2. Доклад “О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2008 году”. – Краснодар, 2009. – 328 с.
3. Панкова Е.И., Прохоров А.Н. Оценка пригодности воды для орошения // Гидротехника и мелиорация. – 1985. – № 10. – С. 54–58.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ РИСА

4. Панкова Е.И., Айдаров И.П. Экологические требования к качеству оросительных вод // Почвоведение. – 1995. – № 7. – С. 870–878.
5. Система рисоводства Краснодарского края: Рекомендации / Под общ. ред. Е.М. Харитонова. – Краснодар : ВНИИ риса, 2005. – 340 с.
6. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса. – Майкоп : ГУРИПП “Адыгея”, 2005. – 1010 с.
7. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. – Майкоп : ГУРИПП “Адыгея”, 2003. – 1027 с.
8. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидро-экология: методы системной идентификации. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
9. *Respirometrische BSB₅ – Bestimmung von mit hemmenden - oder toxischen Stoffen belastetes Abwasser mit dem OxiTop® - MeЯsystem / WTW Applikationsbericht BSB 997 232, 2006.*

УДК 631.81.095.337

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ “МЕГАМИКС”

© С.В. Кизинёк, ФГУП РПЗ “Красноармейский” им. А.И. Майстренко
Россельхозакадемии (г. Краснодар, Россия)

© А.Н. Бурунов, ООО “СТИМУЛ”
(г. Бор, Нижегородская область, Россия)

EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF A NEW MINERAL FERTILIZER WITH THE MICROCELLS “MEGAMIKS”

© S.V. Kizinyok, FSUE RBP “Krasnoarmeysky” after A.I. Maystrenko,
Russian Academy of Agricultural Sciences (Krasnodar, Russia)

© A.N. Burunov, seeker of All-Russian Scientific Research Institute
of Agrochemistry, Chief Executive Officer of Limited Liability Company
.Stimul. (Nizhny Novgorod, Russia)

Приведены результаты исследований в условиях лабораторного и полевого опыта по эффективности нового минерального удобрения с микроэлементами “Мегамикс” на посевах риса. Определены наиболее эффективные дозы, сроки и способы его применения.

Ключевые слова: урожайность, рис, микроэлементы, качество зерна, всхожесть, азот, фосфор, калий.

Are given the results of studies in the conditions of laboratory and field experience on the effectiveness of new mineral fertilizer with the microcells “Megamiks” on sowings of rice. Are determined the most effective doses, periods and methods of its application.

Key words: productivity, fig, microcells, the quality of grain, nitrogen, phosphorus, potassium.

E-mail: rgpzkr@mail.kuban.ru; stimul.bor@yandex.ru

Результаты мониторинга плодородия почв агрохимической службы РФ (по состоянию на 01.01.2011 г.) по данным Минсельхоза РФ показывают, что нуждаемость пахотных почв страны в микроудобрениях проявляется больше,

чем на половине площадей земель сельскохозяйственных угодий, за исключением только борных удобрений, потребность которых установлена примерно на 1/3 площадей. Особенно высока доля почв (>75 %), используемых в сельскохозяйственном производстве, требующих применения молибденовых, цинковых и кобальтовых удобрений. В почвах большинства субъектов установлена отрицательная динамика содержания микроэлементов, что свидетельствует об увеличении потребности земледелия в микроудобрениях.

Основным регионом рисосеяния в России является Краснодарский край. Для удовлетворения потребностей населения страны в рисе необходимо увеличить его сбор. Повышение продуктивности растений возможно при создании сбалансированной системы минерального питания риса [1]. В практике земледелия недостаточная эффективность удобрений и их низкая окупаемость может быть обусловлена недостатком микроэлементов в почвах. Имеются многочисленные данные, свидетельствующие о том, что генезис и свойства почв являются главными факторами, обуславливающими появление дефицита микроэлементов. Как показывают результаты обследования, исходная перед закладкой опыта лугово-черноземная почва средне обеспечена микроэлементами, главным образом медью и цинком.

Необходимость некоторых микроэлементов для нормального роста и развития растений доказана в прошлом столетии. До настоящего времени функции и потребность для жизнеобеспечения растений известны для двух десятков микроэлементов и еще для некоторых элементов известно, что они оказывают стимулирующее действие на рост растений, но их функции пока не установлены. Для культуры риса имеются сведения о положительном влиянии микроэлементов при его возделывании. Например, железо принимает участие в окислительно-восстановительных процессах при фотосинтезе, при его недостатке снижается накопление хлорофилла, растения отстают в росте. При опылении и оплодотворении растениям риса необходим бор, недостаток которого приводит к нарушению углеводного обмена, снижению урожая риса и качества зерна. В азотном обмене растений участвует медь, удовлетворение потребности в которой увеличивает устойчивость хлорофилла. Молибден участвует в восстановлении NO_3 и входит в состав ферментов ксантиноксидазы, нитратредуктазы. Марганец образует марганцево-протеиновый комплекс, который участвует в расщеплении воды фотосистемы хлоропласта. Цинк способствует синтезу ауксина и белков, ускоряет усвоение азота, входит в состав карбоангидразы, участвует в образовании семян. Однако для реализации потенциальной продуктивности и качества выращиваемой продукции, для профилактики и предотвращения развития болезней, учитывая современные сложные экономические условия, целесообразнее применение комплекса микроэлементов. Следует отметить, что есть критические фазы роста, когда некоторые микроэлементы или их комплекс могут оказать существенное влияние на получение высоких урожаев зерна риса и повышения его качества. Увеличение урожайности сопровождается повышением выноса питательных веществ из почвы, при этом значение микроэлементов в системе удобрений, безусловно, возрастает.

С целью разработки системы минерального питания, обеспечивающего наиболее полную реализацию потенциальной продуктивности риса были проведены исследования по оценке эффективности жидкого комплексного микроудобрения “Мегамикс”, производимого ООО “СТИМУЛ”. Препарат выпускается в двух марках: “Мегамикс – Некорневая подкормка”, “Мегамикс – Предпосевная обработка”. В состав удобрения включены растворенные в воде: азот, фосфор, калий, магний, марганец, молибден, хром, бор, селен в виде солей и медь, цинк, никель, кобальт, железо в виде хелатов. Сбалансированный состав, содержание элементов питания в легкодоступной форме, небольшой расход и невысокая стоимость агрохимиката позволит, с учётом положительного влияния на формирование продуктивности риса, в перспективе использовать его в рисоводстве. При разработке наиболее эффективных способов применения удобрения “Мегамикс” необходимо учитывать, что возможности обработки вегетирующих растений ограничены применением авиации, а инкрустация семян чаще всего ограничивается устройством для их обработки.

Получение высоких урожаев обуславливается многими факторами, в том числе формированием посевов с оптимальной густотой стояния растений риса, которая, в свою очередь, определяется посевными качествами и полевой всхожестью семян. Тесная взаимосвязь этих факторов проявляется в том, что низкое посевное качество семян не в состоянии обеспечить высокую их полевую всхожесть. Характеризуя посевные качества семян, в первую очередь, необходимо определить энергию прорастания, дружность и скорость прорастания, а также всхожесть семян. Эти показатели находятся в тесной зависимости от биологических особенностей возделываемого сорта, условий получения и хранения семян [2]. Для гарантированного получения достаточного числа растений на единице посевной площади целесообразно стимулировать прорастание семян, которое обеспечит получение дружных, жизнеспособных всходов, хорошо преодолевающих слой воды в рисовом поле и отличающихся устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды [3, 4].

Эффективным приемом в повышении уровня вышеуказанных параметров является предпосевная обработка семян препаратами, содержащими микроэлементы. Микроэлементам как фактору, оказывающему влияние на формирование продуктивности растений, посвящено много работ ученых агрохимиков, биохимиков и физиологов растений [5, 6]. Авторами отмечается многоплановое положительное влияние микроэлементов на жизненно важные процессы в растениях.

Важным показателем качества семян является энергия прорастания. Исследования показали, что в условиях лабораторного опыта выявлено достоверное влияние “Мегамикс” на энергию прорастания семян риса, показатель повысился на 6,8-10 %, причем наибольшие величины отмечаются при обработке препаратом “Мегамикс – Предпосевная обработка” в дозе 2 л/т семян. Повышение энергии прорастания семян происходило вследствие сокращения на 0,3-0,4 сут. времени прорастания семени, а также увеличения на 2,2-2,9 шт./сут. дружности прорастания. Обработка семян препаратом “Мегамикс” оказала достоверное

положительное влияние на их всхожесть, которая в зависимости от дозы препарата увеличилась на 7,1–12,0 % в сравнении с контролем (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние обработок препаратом “Мегамикс” на посевные качества семян риса

Варианты опыта		Показатели посевного качества семян				
		энергия прорастания	всхожесть семян	дружность прорастания, шт./сут.	высота проростков	длина корешка
		%			см	
Контроль (вода)		69,0	84,0	10,5	11,2	9,3
Мегамикс – Некорневая подкормка	1,0 л/т	75,8	91,1	12,7	11,7	10,1
	2,0 л/т	79,0	96,0	13,4	12,0	11,2
НСР05		1,8	1,4	1,9	0,4	0,6

Обработка посевного материала, а значит, обогащение семян микро-элементами, ускоряют поглощение воды и активность гидролитических ферментов в период их прорастания, что и обеспечивает повышение энергии, скорости и дружности прорастания семян.

Можно допустить, что воздействие препарата на посевные качества семян риса связано с опосредованным его воздействием на окружающую среду. Отмеченное в опыте увеличение дружности и скорости прорастания зерновок свидетельствует о воздействии препарата, а точнее, элементов, входящих в его состав, на поступление в зерновку воды и интенсивность процессов набухания и прорастания. В состав препарата входят элементы, которые необходимы для прорастания семян и, возможно, препятствующие вымыванию минеральных элементов и органических веществ из зерновок при контакте с водой.

Для оценки степени влияния нового удобрения на посевные качества семян в опыте определяли силу начального роста, так как этот показатель характеризует возможность посевного материала давать дружные и выровненные всходы [9]. Повышение силы начального роста семян способствует улучшению показателей выживаемости после посева, устойчивости к поражению патогенами и к неблагоприятным факторам среды, что особенно важно в экстремальных условиях.

Инкрустация семян препаратом “Мегамикс” обусловила не только энергичное прорастание семян, но и активный рост, что отразилось на увеличении линейных размеров проростков. У проростков отмечается достоверное увеличение высоты ростка на 0,5-0,8 см в зависимости от дозы препарата, а длины корешка на 0,8-1,9 см, соответственно. На числе корешков воздействие препарата отразилось в меньшей степени, чем на линейном росте ростка и корешка, достоверно больше, в сравнении с контролем, корешков было у проростков из семян, обработанных препаратом в дозе 2,0 л/тонну. Увеличение как длины корешков, так и их числа, безусловно, обеспечивает увеличение общей адсорбционной и активно-поглощающей поверхности.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МИНЕРАЛЬНОГО ...

Достоверное положительное воздействие инкрустации семян выявлено при формировании числа ростков, в зависимости от дозы препарата оно увеличилось в среднем на 1,7-2,8 шт./100 семян (табл. 2). Интенсификация линейного роста сопровождалась увеличением сухой массы проростков, наилучшие показатели отмечены при использовании дозы препарата 2,0 л/т. В сравнении с контролем масса целого растения (ростка + корешка) в зависимости от дозы препарата увеличилась на 21,1 и 36,8 %, соответственно.

Таким образом, инкрустация семян минеральным удобрением с микроэлементами “Мегамикс” способствует улучшению их посевных качеств, что выражается в повышении энергии прорастания, лабораторной всхожести и силы начального роста. Наиболее значительное воздействие оказывает препарат в дозе 2,0 л/тону семян. Полученные результаты подтверждают необходимость разработки приемов повышения полевой всхожести семян, одним из которых может быть инкрустация семян риса. “Мегамикс”, в состав которого входят микроэлементы, находящиеся в дефиците в почве, способствует повышению роста вегетативной массы растений, развитию корневой системы, большей закладке репродуктивных органов.

Таблица 2 – Влияние обработки препаратом “Мегамикс” на рост и накопление сухой массы растений риса

Варианты опыта		Число ростков, шт./100 семян	Сухая масса, мг		Прирост (росток корень), %
			ростка	корешка	
Контроль (вода)		82,7	1,7	0,2	-
Мегамикс – Некорневая подкормка	1,0 л/т	84,0	1,9	0,4	21,1
	2,0 л/т	85,5	2,1	0,5	36,8
НСР05		2,7	0,2	0,2	

Урожай является интегральным показателем физиолого-биохимических процессов в растительном организме, которые тесно взаимосвязаны с минеральным питанием. Имеющиеся сведения по эффективности микроэлементов показывают, что применение их важно на всех стадиях развития сельскохозяйственных растений, но особенно на ранних. Высокий эффект препаратов, содержащих микроэлементы, связан с их влиянием на проницаемость клеточных мембран, с повышением активности многих ферментов дыхания, синтеза белков и углеводов, с активизацией обменных процессов и увеличением проникновения питательных веществ через поры растений, что приводит к лучшей усвояемости их растениями. Некоторые микроэлементы замедляют отдачу воды клетками, одновременно поддерживают в них соответствующую степень гидратации [10].

Исследования в полевом опыте показали, что использование препарата “Мегамикс”, содержащего большой набор микроэлементов, в том числе В, Со, Мо, Си, Zn на оптимальном агрофоне $N_{120}P_{90}K_{60}$ при предпосевной обработке семян и опрыскивании вегетирующих растений риса обусловило существенное увеличение величин показателей структуры урожая риса. При обработке

семян стимулируются всходы для получения и высоко жизнеспособных проростков, в фазе кущения-трубкования обработка микроэлементами необходима для подготовки растений при переходе от вегетативной фазы к генеративной. Используемые приемы в эксперименте обеспечивали поглощение элементов как листовой поверхностью, так и корневой системой. Опрыскивание вегетирующих растений позволяет молодым растениям риса интенсивно усваивать поступающие через листья питательные вещества, что ускоряет процесс преобразования их в органические соединения.

Таблица 3 – Влияние минерального удобрения “Мегамикс” на формирование вегетативной массы растений риса

Варианты опыта	Фаза вегетации растений риса					
	кущение		выметывание		молочно-восковая спелость зерна	
	S* листьев, см ² /раст.	ФП**, тыс• м ² сут./га	S* листьев, см ² /раст.	ФП**, тыс• м ² сут./га	S* листьев, см ² /раст.	ФП**, тыс• м ² сут./га
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀ –Фон (Ф)	57,9	121,8	91,1	545,3	63,5	1000,3
Фон + обработка семян (2,0 л/т)	63,4	142,1	106,2	621,1	71,5	1157,7
Фон + обработка семян (2,0 л/т) + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2	66,8	169,8	120,9	743,9	82,2	1468,2
Фон + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2	65,2	159,7	115,5	677,5	77,2	1246,8
Фон + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 + в фазе формирования метелки	66,0	161,0	117,4	683,9	79,3	1299,5
НСР ₀₅	5,2	17,5	6,1	21,4	4,7	33,8

Примечание: *площадь листьев растений риса; **фотосинтетический потенциал посева риса

Результаты опыта показывают, что применение “Мегамикс” к фазе кущения обусловило различия по формированию листовой поверхности риса. В условиях предпосевной обработки семян она увеличилась в сравнении с контролем на 9,5 %, комбинированный способ применения препарата обеспечил прирост листовой поверхности на 15,3 %, опрыскивание вегетирующих растений в зависимости от количества обработок на 12,6 и 13,9 %, соответственно (табл. 3). Максимальные величины площади листьев отмечены в фазу выметывания, разница по вариантам сохраняется и составляет 16,5, 32,7, 26,7 и 28,8 %, соответственно, лучшим был вариант с комбинированной обработкой (3 вар. – предпосевная обработка + опрыскивание посевов). К фазе молочно-восковой спелости величина площади листьев снижается, хотя выявленные закономерности и различия по вариантам сохраняются.

Сформированный ассимиляционный аппарат растений в основном определяет количество поглощенной солнечной энергии и, следовательно, активность фотосинтетической деятельности растения, для характеристики которой рассчитывали фотосинтетический потенциал (ФП) [11]. Как показывают данные, наименьшие величины этого параметра определяются в

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МИНЕРАЛЬНОГО ...

фазу кущения, максимальные – в фазу молочно-восковой спелости зерна. Во всех вариантах с использованием препарата “Мегамикс” ФП можно охарактеризовать как удовлетворительный для синтеза и накопления сухого вещества. Естественно, увеличение ФП происходит за счёт большей массы листьев в начале вегетации и удлинения периода работы листового аппарата, а также за счёт повышения густоты стояния растений, обусловленной более высокой полевой всхожестью и выживаемостью растений в условиях применения препарата “Мегамикс” на фоне полного минерального удобрения.

При инкрустации семян отмечено достоверное увеличение высоты растений в фазу кущения в сравнении с контролем на 3,6 см. Использование препарата и для предпосевной обработке семян и для опрыскивания вегетирующих растений обеспечило дальнейший рост показателя на 7,2 см. Применение некорневой подкормки было хотя также эффективным, но высота растений была на 5,2-5,7 см больше, однако это существенно меньше в сравнении с вариантом комбинированной обработки. Достоверного преимущества двукратного опрыскивания посева не выявлено (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние минерального удобрения “Мегамикс” на рост и накопление сухой массы растений риса

Варианты опыта	Фаза вегетации растений риса					
	кущение		вымётывание		молочно-восковая спелость зерна	
	высота, см	сухая масса, г/раст.	высота, см	сухая масса, г/раст.	высота, см	сухая масс, г/раст.
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀ -Фон (Ф)	31,7	1,39	64,4	3,05	78,7	2,93
Ф + обработка семян (2,0 л/т)	35,3	1,62	67,2	3,75	80,1	3,41
Ф + обработка семян (2,0 л/т) + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га	38,9	2,11	69,5	4,18	82,5	4,03
Ф + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га	36,9	1,85	68,2	3,88	81,0	3,63
Ф + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га + в фазе формирования метелки	38,4	1,91	68,9	4,01	81,5	3,79
НСР ₀₅	1,4	0,17	1,7	0,25	1,5	0,18

Улучшение условий развития и питания растений обусловило в динамике и большее накопление сухой массы растениями риса. Обработка препаратом семян обеспечила увеличение накопления сухого вещества в сравнении с контролем на 16,5 %, комбинированное применение препарата – на 51,7 %, опрыскивание вегетирующих растений на 33,1 % и двукратное опрыскивание – на 37,4 %. Выявленные закономерности сохранились в динамике развития растений, и к фазе молочно-восковой спелости зерна прирост сухой массы растений в зависимости от способа применения препарата составил 22,9, 37,1, 27,2 и 31,5 %, соответственно (табл. 4). Необходимо отметить, что в опыте опрыскивание посевов риса микроэлементами производили в смеси с гербицидом.

Полученные данные свидетельствуют о том, что использование препарата “Мегамикс” снимает химический стресс, и растения риса дают прирост по высоте растений. Следует также указать, что выявленное в ходе эксперимента повышение устойчивости к полеганию растений обусловлено, по-видимому, формированием более прочного стебля вследствие используемых агроприемов.

На фоне оптимального агрофона $N_{120}P_{90}K_{60}$ вносимое микроудобрение “Мегамикс” способствовало не только увеличению высоты растений, но и более интенсивному накоплению сухого вещества, что обеспечило повышение массы 1000 зерен, зерна с главной метелки и в целом урожая зерна (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние минерального удобрения “Мегамикс” на рост и формирование продуктивности растений риса

Варианты опыта	Показатели структуры урожая				Урожай	Прибавка
	длина метелки, см	масса зерна, г		пустозерность, %		
		1 000 зерен	с гл. метелки		ц/га	
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀ –Фон (Ф)	13,1	26,9	2,3	17,3	70,8	-
Фон + обработка семян (2,0 л/т)	13,6	27,0	2,6	16,8	75,1	4,3
Ф + обработка семян (2,0 л/т) + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га	14,2	27,8	2,9	16,0	77,6	6,8
Ф + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га	13,9	27,3	2,7	16,5	75,9	5,1
Ф + опрыскивание посевов в фазе кущения + в фазе формирования метелки	14,0	27,5	2,8	16,9	76,6	5,8
НСР ₀₅	0,6	1,4	0,21	1,1	2,3	

Исследуемые приёмы оказали достоверное влияние на получение более высокого урожая риса за счет увеличения длины и озерненности метелки, массы 1000 зерен, снижения пустозерности. Препарат способствовал снижению пустозерности метелки, т.е. были созданы благоприятные условия для оплодотворения. Наибольшее воздействие на этот показатель оказал комбинированный способ применения “Мегамикс” (3 вар.). Прибавка урожая зерна риса составила 4,3, 6,8, 5,1 и 5,8 ц/га, соответственно, что составляет 6,1, 9,6, 7,2 и 8,2 %. На отношение зерно/солома исследуемые агроприёмы существенного влияния не оказали: на контроле соотношение – 1:0,81, в вариантах с применением “Мегамикс” 1:0,83 – 1:0,86.

Для полной оценки эффективности действия “Мегамикс” провели анализ качества зерна (табл. 6). Данные показывают, что на содержание крахмала в зерне риса исследуемые приемы оказали слабое влияние, отмечено увеличение показателя в случае комбинированного способа применения и двукратной обработки посевов препаратом. Стекловидность в зависимости от способа его применения увеличилась на 0,2, 3,0, 1,4 и 1,9 %, соответ-

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МИНЕРАЛЬНОГО ...

ственно. Аналогичная закономерность выявлена при анализе зерна на содержание в нем золы. Лучшая выполненность зерновки при использовании препарата “Мегамикс” обусловила снижение плёнчатости, лучшие показатели 17,5 и 17,6 % определены в вариантах с комбинированным способом применения препарата и двукратной обработкой им посевов риса. При этом отмечается также снижение трещиноватости.

Таблица 6 – Влияние минерального удобрения “Мегамикс”

Варианты опыта	Показатели качества зерна риса					
	содержание			стекло- видность	пленча- тость	трещино- ватость
	белка	крахмала	золы			
	%					
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀ –Фон (Ф)	6,5	70,3	4,0	74,9	18,2	30,8
Фон + обработка семян (2,0 л/т)	6,7	70,4	4,1	75,1	18,1	30,1
Ф + обработка семян (2,0 л/т) + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га	7,3	71,0	4,3	77,9	17,5	29,3
Ф + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га	7,1	70,6	4,1	76,3	17,8	29,8
Ф + опрыскивание посевов в фазе кущения + в фазе формирования метелки	7,2	70,9	4,2	76,8	17,6	29,6
НСР ₀₅	0,20	0,25	0,12	0,17	0,34	0,55

Таким образом, своевременное и систематическое применение микроэлементов в сочетании с макроудобрениями позволяет при сравнительно небольших затратах существенно увеличить производство сельскохозяйственной продукции. Данные показывают, что инкрустация семян и внекорневая подкормка “Мегамикс” – эффективный агроприём, который быстро и целенаправленно устраняет дефицит микроэлементов в почвах, являясь препаратом быстрой поставки питательных веществ во время наиболее максимальной потребности в них растений риса.

Применение “Мегамикс” существенно повлияло на вынос основных макроэлементов растениями риса. Обработка посевного материала и вегетирующих растений увеличила вынос азота в зависимости от способа применения препарата в среднем на 10,1-22,7 кг/га, что составляет по вариантам на 7,9, 17,8, 11,5 и 14,2 %, соответственно. Препарат способствовал эффективному оттоку азота из вегетативных органов в зерно, что важно как с агрономической, так и с экологической точки зрения, обеспечивая защиту сопредельных с почвой сред.

Расчет показывает, что использование препарата увеличивает коэффициент использования азота на 7,0 – 13 % в зависимости от способа применения “Мегамикс”, наилучшие показатели отмечены в 3 варианте – при комбинированном способе применения (табл. 7).

Варианты опыта	Содержание, %				Вынос, кг/га															
	зерно				солома				зерно				солома				хозяйственный			
					N	P	K	N					P	K	N	P				
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₆₀ -Фон (Ф)	1,19	0,61	0,33		0,77	0,24	2,11		84,3	43,2	23,3		43,1	13,4	118,1		127,4	56,6		141,4
Фон + обработка семян (2,0 л/г)	1,21	0,64	0,34		0,80	0,25	2,16		90,8	48,1	25,5		46,7	14,6	126,1		137,5	62,7		151,6
Ф + обработка семян (2,0 л/г) + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га	1,27	0,71	0,36		0,83	0,26	2,33		98,5	55,0	27,9		51,6	16,1	144,9		150,1	71,1		172,8
Ф + опрыскивание посевов в фазе кущения 0,2 л/га	1,24	0,65	0,34		0,81	0,25	2,25		94,1	49,3	25,8		48,0	14,8	133,2		142,1	64,1		159,0
Ф + опрыскивание посевов в фазе кущения+ в фазе формирования детелки	1,25	0,67	0,35		0,81	0,25	2,29		95,7	51,3	26,8		49,9	15,4	141,2		145,6	66,7		168,0

Аналогичные закономерности по выносу и использованию элементов питания выявлены в отношении фосфора и калия (табл. 7). Хозяйственный вынос элементов в зависимости от способа использования препарата увеличился: фосфора – на 10,7, 25,0, 13,2 и 17,0 %, калия – 7,0, 22,0, 12,4 и 18,0 %, соответственно.

Следует отметить, что изученные способы применения препарата “Мегамикс” существенно отличались по затратам, наименьшие – в предпосевной обработке семян, наибольшие – при двукратном опрыскивании посевов. Доказано, что при всех способах применение препарата эффективно, однако уровень эффективности существенно различается. Считаем, что полученные результаты предоставляют возможность выбора наиболее удобного способа использования с учетом формы собственности организации и её финансовых ресурсов. Наилучший экономический эффект выявлен в варианте с предпосевной обработкой семян (2 вар.) и однократной некорневой подкормкой посевов риса (3 вар.).

Таким образом, в стационарном полевом опыте на лугово-чернозёмной почве установлены особенности влияния нового минерального удобрения с микроэлементами на урожай и качество зерна риса и размеры общего выноса элементов питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеуджен А.Х., Кизинёк С.В. Удобрение риса. Групп “Адыгея”. – Майкоп, 2004. – 147 с.
2. Сметанин А.П., Дзюба В.А., Апрод А.И. Методика опытных работ по селекции, семеноводству, семеноведению и контролю за качеством семян риса. – Краснодар : Кн. изд-во, 1972. – 156 с.
3. Шеуджен А.Х. Агрохимия микроэлементов в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Х.Д. Хурум [и др.]. – Майкоп : Афиша, 2006. – 246 с.
4. Науменко А.П. Теоретическое обоснование и разработка технологии использования циркона и цитовита на посевах риса : Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. – Краснодар, 2010. – 22 с.
5. Шеуджен А.Х., Алешин Н.Е. Теория и практика применения микроудобрений в рисоводстве. – Майкоп, 1996. – 314 с.
6. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса. Групп “Адыгея”. – Майкоп, 2005. – 1010 с.
7. Аристархов А. Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. – М. : ЦИНАО, 2000. – 522 с.
8. Шеуджен А.Х., Хурум Х.Д. Особенности микроэлементного режима почв рисовых полей/ // Агрохимия. – 2006. – № 1. – С. 16–22.
9. Ижик Н.К. Полевая всхожесть семян. – Киев : Урожай, 1976. – 200 с.
10. Ягодин Б.А., Верниченко И.В., Дхиллон К.С. Поглощение и включение в состав белков аммонийного и нитратного азота при различной обеспеченности растений микроэлементами // Применение N^{15} в агрохимических исследованиях. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1988. – С. 144–146.
11. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений как основа их продуктивности в биосфере и земледелии // Фотосинтез и продукционный процесс. – М. : Наука, 1988. – С. 5–28.

УДК 631.412; 631.415.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ТУРОВОГО МОНИТОРИНГА КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПАХОТНЫХ ПОЧВ

© Н.А. Комарова, ФГБУ ЦАС «Владимирский» (г. Владимир, Россия)

© В.И. Комаров, ФГБУ ЦАС «Владимирский» (г. Владимир, Россия)

RESULTS OF THE MONITORING OF THE ACID-BASE PROPERTIES OF THE ARABLE SOILS

© N.A. Komarov, FGBU CAC «Vladimir» (Vladimir, Russia)

© V.I. Komarov, FGBU CAC «Vladimir» (Vladimir, Russia)

В работе приведены результаты мониторинга кислотности пахотных почв в зависимости от интенсивности химизации земледелия. Проведен вариационный анализ и определены темпы подкисления различных типов почв во времени и в пространстве. Разработаны нормативы внесения химических мелиорантов для поддержания оптимального уровня pH среды.

Ключевые слова: почва, кислотность среды, мелиорант, кальций, магний.

The results of monitoring the acidity of soils depending on the level of the introduction of fertilizers are shown. Are given data of mathematical analysis and are determined the rates of acidification of different types of soils [v] in the time. Are developed the standards of the introduction of lime for the optimization pH of medium.

Key words: soil, the acidity of medium, meliorant, calcium, magnesium

В комплексе работ по почвенному мониторингу большое значение имеет не только определение ежегодного состояния плодородия, но и оценка изменений, произошедших за ряд лет, то есть проведение наблюдений и исследований не только в пространстве, но и во времени. Практикой со всей убедительностью доказана тщетность попыток получать высокие урожаи на кислых почвах. На кислых почвах невозможно интенсивное земледелие, эффективность минеральных удобрений на них составляет не более 50-60 % от нормативной, при этом крайне сложно получать продукцию хорошего качества и сохранять основы экологической безопасности и гигиенических нормативов. В Российской Федерации за последние 5 лет ежегодно известкуется от 180 до 360 тыс. га, причём около 50 % от этого объёма в Республике Татарстан. При этом отмечается чёткая тенденция к сокращению и этого мизерного объёма известкования, поскольку к 2010 году финансирование этих работ в абсолютном большинстве субъектов РФ сокращено до критического уровня или совсем прекращено.

Проблема наличия обширных площадей почв с избыточной кислотностью во Владимирской области является одной из главных причин низкой продуктивности сельскохозяйственных культур и ряда отрицательных экономических и экологических последствий. Оценка изменений кислотности различных типов почв региона в условиях интенсивного и экстенсивного земледелия при различных уровнях применения химических мелиорантов произведена на основе обобщения результатов турового монито-

РЕЗУЛЬТАТЫ ТУРОВОГО МОНИТОРИНГА ...

ринга за период 1966–2010 гг. В период интенсивной химизации сельскохозяйственного производства с 1970 по 1990 год значительно снизилась кислотность пахотных почв, в результате систематического известкования были практически ликвидированы очень сильно кислые и сильнокислые почвы. Величина рН_{сол.} в целом по области и почти на всех типах почв в районах области к 1990 году была близка к оптимальному уровню и достигла рН 5,6-5,8 (табл. 1). Систематическое грамотное применение удобрений и периодическое известкование стали мощными факторами воздействия на плодородие почв области.

Таблица 1 – Динамика площадей пахотных почв по степени кислотности

Годы	Един. измер.	Градации кислотности, рН _{кл}			
		≤ 5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	≥ 6,1
1970	тыс. га	467,7	113,4	43,2	23,9
	%	72,1	17,5	6,7	3,7
1975	тыс. га	376,9	151,4	80,8	39,4
	%	58,1	23,3	12,5	6,1
1980	тыс. га	260,6	205,6	146,2	46,0
	%	39,6	31,2	22,2	7,0
1985	тыс. га	167,2	202,5	204,4	87,3
	%	25,3	30,6	30,9	13,2
1990	тыс. га	67,4	138,9	270,4	180,5
	%	10,2	21,1	41,2	27,5
1995	тыс. га	46,1	114,2	257,7	164,8
	%	7,9	19,6	44,2	28,3
2000	тыс. га	50,0	135,0	235,3	124,8
	%	9,1	24,7	43,2	23,0
2005	тыс. га	29,7	133,5	276,8	60,8
	%	5,9	26,7	55,3	12,1
2010	тыс. га	36,8	135,7	275,1	46,2
	%	7,5	27,4	55,7	9,4

Выявлено, что в период до 1990 года в целом известкование почв было достаточно эффективным и позитивно сказалось на снижении площадей кислых почв, в первую очередь за счет сильнокислых более чем в 7 раз, а доля почв с реакцией среды близкой к нейтральной увеличилась с 3,7 до 27,5 %. Вследствие интенсивного известкования почв отмечались наиболее существенные изменения всех форм кислотности среды, увеличилось содержание обменных оснований в ППК, резко повысилось средневзвешенное значение уровня рН. Отметим, что объемы применения химических мелиорантов, а также качество проведения работ по известкованию существенно различались по отдельным административным районам, что отразилось на динамике кислотности почвен-

ной среды. В работе анализу подвергались показатели кислотности почв, согласно принятым в агрохимической службе градациям, земель сельскохозяйственных угодий в разрезе муниципального деления порайонно и по отдельным хозяйствам. Как показывают полученные результаты, площади сильнокислых почв и их доля от общей обследованной площади характеризуется большими колебаниями как по районам, так и по типам почв. К 1990 году наибольшая доля сильнокислых почв была распространена на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах – 3,8 %, наименьшая – в серых лесных – 1,9 %.

Однако следует отметить, что легкие по гранулометрическому составу дерново-подзолистые почвы были более отзывчивы на химическую мелиорацию, и в исследуемый период в этой группе почв отмечается наибольшая доля почв с нейтральной реакцией среды – 42 %. Но в сумме доля почв, не нуждающихся в известковании (с близкой к нейтральной и нейтральной реакцией среды), наибольшая на серых лесных почвах – 71,2 % (рис. 1, 2). В целом по области доля почв с благоприятными кислотно-основными свойствами достигла 66,3 %.

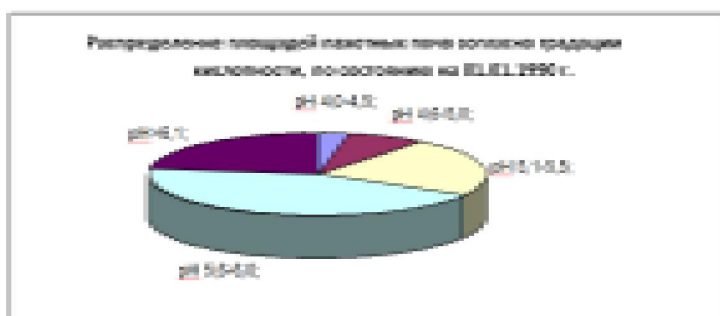


Рисунок 1 – Долевое соотношение пахотных почв по уровню кислотности в целом по области, % от общей обследованной площади

С 1991 г. в силу известных причин экономического характера объемы известкования почв резко снизились, в этот период мелиоративные работы носят эпизодический характер. Поэтому вполне объяснимо, что начиная с 7-го тура агрохимического обследования выявлено увеличение площадей кислых почв в ряде районов.

За последние 10 лет объемы известкования кислых почв уменьшились более чем в 30 раз. С 2000 г. доля почв с нейтральной реакцией стала уменьшаться и к настоящему времени их доля составляет около 12 % (табл. 2, рис. 3). Анализ результатов по интенсивности подкисления различных типов почв в условиях резкого спада химической мелиорации показывает, что наибольшая площадь кислых почв занята дерново-подзолистыми песчаными и супесчаными почвами – 42,3 %, в дерново-подзолистых суглинистых и серых лесных почвах эта величина несущественно различается и составляет, соответственно, 27,6 и 28,7 %. В целом по области в период после 1990 года площадь почв, нуждающихся в известковании, составляет 32,6 %. Следует учитывать, что динамика кислотности и по районам и по типам почв существенно отличается от усредненной динамики показателя.

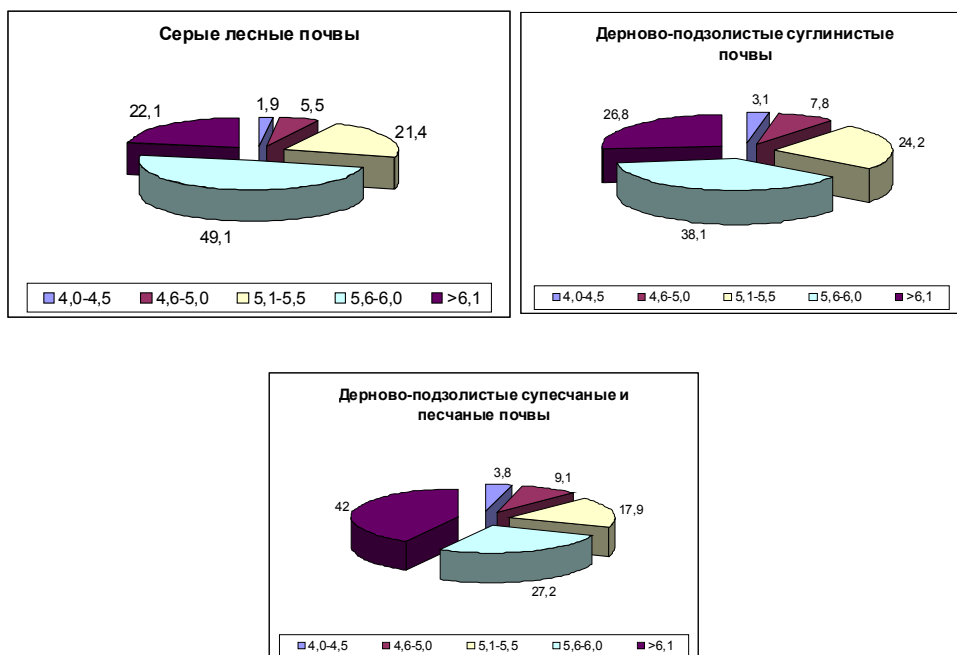


Рисунок 2 – Распределение площадей пахотных почв, согласно градации по уровню кислотности по состоянию на 01.01.1990 г., % от обследованной площади

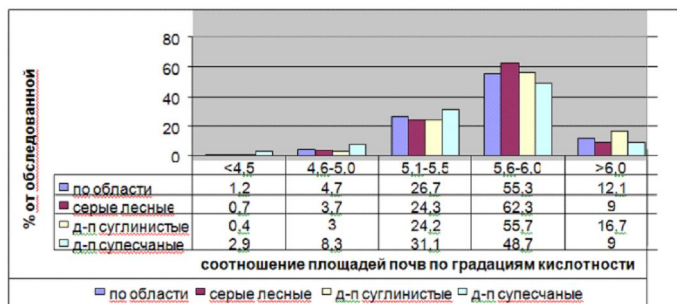


Рисунок 3 – Долевое соотношение площадей почв в области, согласно градации по кислотности по состоянию на 01.01.2010 г., % от обследованной площади

Почвенный мониторинг в пределах конкретного типа почв свидетельствует об общей закономерности распределения почв по степени кислотности, выявлены существенные различия по районам. Так, например, в Юрьев-Польском районе доля серых лесных почв, характеризующихся близко к нейтральной реакцией среды, составляет 75,1 %, а в Александровском – 48,4 %, здесь же почвы, нуждающиеся в известковании, занимают более 40 % (рис. 4).

Таблица 2 – Распределение пахотных земель области по показателям плодородия по состоянию на 01.01.2010 г.

Район области	Очень сильнокислая			Сильнокислая			Среднекислая			Слабокислая			Близкая к нейтральной			Нейтральная			Сравн величина pH _{кд}
	<4,1			4,1-4,5			4,6-5,0			5,1-5,5			5,6-6,0			>6,0			
	га	%		га	%		га	%		га	%		га	%		га	%		
	Серые лесные почвы																		
Александровский	36	0,1		775	2,0		3642	9,5		12480	32,7		18489	48,4		2800	7,3		5,5
Кольчугинский	17	0,1		101	0,4		783	3,0		3504	13,5		17586	67,8		3930	15,2		5,8
Собинский	-	-		89	0,2		837	2,3		6708	18,2		25726	69,8		3485	9,5		5,7
Суздальский	-	-		48	0,1		1685	2,5		26590	39,3		34376	50,8		4950	7,3		5,6
Юрьев-Польский	15	0,0		266	0,4		786	1,1		12443	17,9		52337	75,1		3837	5,5		5,7
Дерново-подзолистые суглинистые почвы																			
Вязниковский	5	0,0		89	0,4		595	2,9		3625	18,0		11896	58,9		3976	19,8		5,8
Гороховецкий	1	-		110	0,8		553	3,8		5410	37		7346	50,2		1200	8,2		5,6
Камешковский	-	-		52	0,3		720	4,0		4021	22,1		11602	63,8		1793	9,8		5,7
Кировский	6	0,0		117	0,5		350	1,3		2062	7,9		12865	49,6		10556	40,7		5,9
Муромский	-	-		14	0,0		842	2,9		10480	35,9		16353	56,0		1532	5,2		5,6

Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы													
Гусь-Хрустальный	65	0,3	1485	6,8	2838	13,0	9352	43,0	6636	30,5	1383	6,4	5,4
Киржачский	-	-	15	0,1	153	1,5	1591	15,5	7010	68,1	1521	14,8	5,8
Меленковский	16	-	834	1,7	3963	8,2	14533	30,1	22752	47,1	6219	12,9	5,6
Петушинский	70	0,6	688	5,6	1937	15,7	4127	33,5	4720	38,4	761	6,2	5,4
Селивановский	18	0,1	21	0,1	424	2,1	5490	26,9	13910	68,1	556	2,7	5,7
Судогодский	174	0,8	303	1,3	2164	9,5	8602	37,6	9181	40,1	2446	10,7	5,6
По области	489	0,1	5642	1,1	23588	4,7	133480	26,7	276794	55,3	60827	12,1	5,5

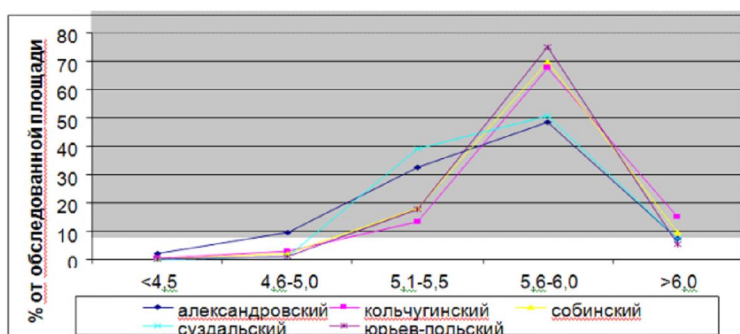


Рисунок 4 – Изменение соотношения почв по кислотности в районах на серых лесных почвах, % от обследованной площади по состоянию на 01.01.2010 г.

Аналогичные закономерности выявлены и в дерново-подзолистых суглинистых почвах (рис. 5). В Камешковском и Вязниковском районах доля почв с реакцией среды $>5,6$ составляет, соответственно, 63,8 и 58,9 %, а в Гороховецком и Ковровском районах около 50 %. В последнем случае почвы, нуждающиеся в известковании, составляют уже половину площади пашни.

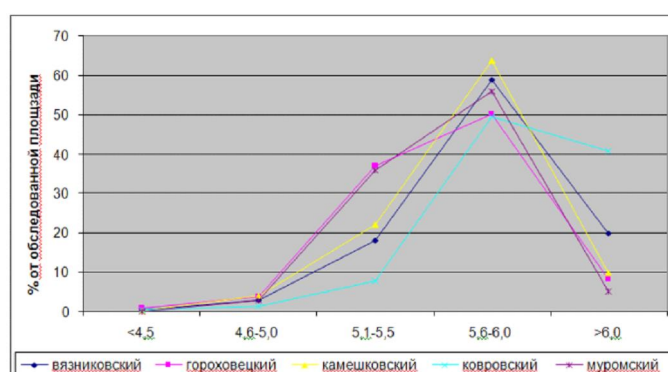


Рисунок 5 – Изменение соотношения почв по кислотности в районах Владимирской области на дерново-подзолистых суглинистых почвах, по состоянию на 01.01.2010 г., % от обследованной площади

Характеризуя пахотные почвы по степени кислотности, необходимо отметить роль продолжительного последствия известкования. Известь, внесённая в оптимальных дозах ежегодно в среднем на площади 89 тыс. га пашни (а всего с 1965 по 2009 г. произвестковано около 1000 тыс. га), позволяет поддерживать уровень кислотности среды на благоприятном уровне: $pH_{KCl} 5,6$. Причиной стабилизации реакции среды на уровне 5,6 может быть также отмеченное в последнее время сокращение площадей пашни во всех районах, причем в основном за счет низкоплодородных, а значит, и наиболее кислых почв, что снижает долю таких почв в общем объеме пашни.

На основе результатов мониторинга изменения кислотности при известковании серых лесных и дерново-подзолистых почв разного гранулометри-

РЕЗУЛЬТАТЫ ТУРОВОГО МОНИТОРИНГА ...

ческого состава разработаны нормативы применения известковых удобрений. Полученные результаты являются основой для планирования сроков и доз известкования для поддержания реакции почв на оптимальном уровне (табл. 3).

Таблица 3 – Нормы расхода CaCO_3 (т/га) для сдвига реакции на 0,1 ед. pH_{KCl} дерново-подзолистых и серых лесных почв

Гранулометрический состав почв	$\text{pH}_{\text{СОЛ.}}$						
	<4,5	4,6-4,7	4,8-4,9	5,0-5,1	5,2-5,3	5,4-5,5	5,6-5,7
Дерново-подзолистые почвы							
Пески	0,33	0,4	0,45	0,64	0,76	0,86	-
Супеси	0,35	0,4	0,45	0,58	0,59	0,66	-
Суглинки:							
легкие	0,41	0,42	0,61	0,64	0,71	0,89	0,95
средние	0,49	0,56	0,68	0,69	0,74	0,9	1,15
тяжелые	0,58	-	-	-	-	-	-
Серые лесные почвы							
Суглинки:							
легкие	-	-	0,47	0,69	0,78	0,9	0,99
средние	0,51	0,54	0,57	0,71	0,81	0,95	1,0
тяжелые	-	-	-	0,82	0,94	1,12	-

Динамика изменения кислотности почв в целом по области, по отдельным районам и типам почв находится в тесной зависимости от объемов известкования за анализируемый период. Установлена корреляционная зависимость между дозами CaCO_3 (т/га) и pH_{KCl} : с увеличением доз мелиоранта увеличивается ДрН , в опытах, где величина pH изменялась внесением разных доз извести, теснота связи высокая ($R = 0,87-0,91$). Выявлены сдвиги pH от 1 т CaCO_3 : на сильнокислых почвах ($\text{pH} < 4,5$) – 0,17, на среднекислых ($\text{pH} 4,6-5,0$) – 0,16 и слабокислых ($\text{pH} 5,1-5,5$) – 0,14. Определены нормативы сдвига pH для основных разновидностей почв в зависимости от их гранулометрического состава:

Дерново-подзолистые почвы

песчаные	-	0,21
супесчаные	-	0,21
легкосуглинистые	-	0,16
среднесуглинистые	-	0,16

Серые лесные почвы

легкосуглинистые	-	0,11
среднесуглинистые	-	0,12
тяжелосуглинистые	-	0,11

Данные показывают, что при внесении одной и той же дозы мелиоранта в пересчете на 1 т CaCO_3 наибольший сдвиг pH происходил на супесчаных почвах, наименьший – на тяжелосуглинистых, показатели сдвига pH наибольшие на дерново-подзолистых почвах.

Экологическая безопасность пахотных почв во многом зависит от содержания в почвах обменных кальция и магния, формирующих такой важный параметр почвенного плодородия, как степень насыщенности почв основаниями. Степень насыщенности почв основаниями в серых лесных и дерново-подзолистых суглинистых почвах составляет 80–85 %, в дерново-подзолистых супесчаных и песчаных 70–75 %. В целом по области содержание Ca и Mg в пахотных почвах колеблется от 5 до 13 мг-экв/100 г почвы, их содержание выше в серых лесных почвах, резких изменений по годам не выявлено (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание кальция и магния в различных типах почв

Почвы	Годы	Ca	Mg	Степень насыщенности основаниями, %
		мг-экв/100 г		
Серые лесные	1994	8,9	3,4	86
	2010	10,3	2,8	81
Дерново-подзолистые суглинистые	1994	4,9	2,2	83
	2010	4,8	2,2	80
Дерново-подзолистые супесчаные	1994	3,2	1,7	82
	2010	3,6	1,8	78

Данные, полученные с реперных участков, показывают значительные вариации pH_{KCl} , наиболее значимые положительные изменения отмечены для дерново-подзолистых почв, средневзвешенный показатель в течение всего анализируемого периода оставался более высоким, чем в серых лесных почвах. Обобщенная характеристика динамики pH_{KCl} , произведенная на основе статистической обработки средних значений показателя, представлена в табл. 5. Выявлено, что в последние годы вследствие интенсивного известкования в предыдущие годы почвы характеризуются относительно стабильными параметрами кислотности и относятся к слабокислым.

Таблица 5 – Динамика средневзвешенного показателя уровня рН среды на реперных участках в зависимости от гранулометрического состава почв

Показатели	рН							
	Годы исследований							
	1993	1996	1998	2000	2003	2005	2008	2010
Серые лесные почвы, n=9								
ср. вз. рН	5,84	5,73	5,62	5,48	5,63	5,59	5,56	5,54
lim	6,1-5,5	6,0-5,4	6,0-5,4	6,0-5,2	6,1-5,4	5,9-5,2	5,8-5,1	5,8-5,1
M+m	5,84±0,28	5,77±0,21	5,74±0,26	5,59±0,31	5,62±0,33	5,59±0,31	5,51±0,32	5,48±0,27
V, %	4,8	3,6	5,4	5,6	5,9	5,6	5,8	4,9
Дерново-подзолистые легко-, средне- и тяжелосуглинистые почвы, n=18								
ср. вз. рН	6,09	5,99	5,84	5,81	5,89	5,84	5,77	5,74
lim	6,7-5,8	6,5-5,7	6,4-5,8	6,5-5,7	6,5-5,6	6,5-5,5	6,5-5,5	6,2-5,4
M+m	6,24±0,36	6,2±0,35	6,11±0,33	6,06±0,39	6,09±0,41	5,99±0,37	5,92±0,41	5,74±0,27
V, %	5,8	5,7	5,4	6,4	6,7	6,2	6,9	4,7
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, n=7								
ср. вз. рН	6,24	6,14	5,98	6,01	5,99	5,97	5,86	5,80
lim	6,7-5,4	6,7-5,7	6,5-5,3	6,5-5,3	6,7-5,3	6,6-5,3	6,6-5,3	6,4-5,2
M+m	6,09±0,53	6,03±0,51	5,96±0,49	5,84±0,55	5,99±0,61	5,97±0,54	5,90±0,57	5,80±0,56
V, %	8,7	8,5	8,2	9,4	10,2	8,6	9,7	9,7
средобл.	6,1	6,0	5,9	5,8	5,8	5,8	5,7	5,6

Здесь и далее: n – число наблюдений (число реперных участков); V – коэффициент вариации; $\lim$ – интервал между минимальным и максимальным значением показателя; M – среднее значение показателя; m – ошибка среднего.

В таблице 5 приведены данные по уровню кислотности разных типов почв, используемых при характеристике их агрономической ценности, математически обработанных с использованием методов вариационной статистики, что позволяет оценивать не только их абсолютные значения, но и относительные (изменчивость признака во времени). Данные показывают, что очевиден процесс нарастания подкисления почв, за семь лет в среднем снижение величины рН произошло на 0,3 ед. рН. В среднем рас-

смаатриваемая группа почв находится в разряде слабокислых и с 6-го по 9-й цикл значение рН_{kd} практически стабильно. Однако в целом можно констатировать постепенное снижение величины степени кислотности пахотных серых лесных почв Владимирской области в процессе их сельскохозяйственного использования с последующей стабилизацией значения рН_{kd} на уровне 5,5-5,6 единиц. Следует отметить, что динамика степени кислотности по отдельным реперным участкам существенно отличается от усредненной динамики данного показателя.

Уровень кислотности суглинистых почв изменялся такими же темпами. В среднем реакция среды рассматриваемой группы почв характеризуется как слабо кислая и близкая к нейтральной. С 1993 года по настоящее время значение рН_{кcl} сохраняется на уровне 5,8-5,9, за семь лет уменьшилось на 0,3 ед. рН. В данной группе почв наблюдается наибольшая вариабельность показателя кислотности почв. Такая тревожная динамика указывает на то, что если не проводить известкование в последующие годы, то может начаться процесс вторичного подкисления почв, а значит, не только обеспечены значительные потери в урожае сельскохозяйственных культур, но и прогрессирующие негативные процессы, в том числе деградация почв.

На дерново-подзолистых почвах песчаного и супесчаного гранулометрического состава изменение этого показателя происходило несколько активнее (в среднем на 0,4 рН за 7 лет), чем на дерново-подзолистых суглинистых и серых лесных почвах. Установлено, что такая характеристика почвенного плодородия, как показатель рН в солевой вытяжке, отличается различной вариабельностью во времени в зависимости от типа почв. Это вполне закономерно, поскольку, в силу специфики данного параметра, затраты на его изменение также различаются. Наибольшей вариабельностью характеризуются дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, наименьшей – серые лесные почвы.

Результаты динамики изменения уровня кислотности на реперных участках Владимирской области соответствуют общим тенденциям в Центральном экономическом районе и в целом в Российской Федерации: в связи с почти полностью прекратившимся известкованием почв нарастает процесс подкисления почв. Однако темпы подкисления невелики. Причин стабилизации реакции среды на уровне 5,6-5,8 может быть несколько. Во-первых, сокращение площадей пахотных угодий во всех районах идет, в основном, за счет низкоплодородных, а значит, и наиболее кислых почв, что снижает долю таких почв в общем объеме. Большое значение имеет и продолжительность последствий известковых удобрений.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НИТРОАММОФОСКИ
С АНТИСЛЁЖИВАЮЩИМИ ДОБАВКАМИ В УСЛОВИЯХ
ОРОШЕНИЯ**

© *С.В. Кизинек, ФГУП РПЗ “Красноармейский” им. А.И. Майстренко
(г. Краснодар, Россия)*

© *М.В. Таук, ОАО Акрон (г. Великий Новгород, Россия)*

© *А.Х. Шеуджен, ГНУ ВНИИ риса (г. Краснодар, Россия)*

© *Н.И. Аканова, ГНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова (г. Москва, Россия)*

© *И.И. Николаева, ОАО Акрон (г. Великий Новгород, Россия)*

**EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF NITROAMMOPHOSKA
WITH THE ANTICAKING ADDITIVES UNDER THE CONDITIONS OF
THE IRRIGATION**

© *S.V. Kizinyok, FSUE RBP "Krasnoarmeysky" after A.I. Maystrenko,
Russian Academy of Agricultural Sciences (Krasnodar, Russia)*

© *M.V. Tauk, JSC "Acron" (Nizhny Novgorod, Russia)*

© *A. Kh. Sheudzhen, SSI All-Russian Rice Research Institute (Krasnodar, Russia)*

© *N.I. Akanova, SSI All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry
after D.N. Pryashnikov (Moscow, Russia)*

© *I.I. Nikolayeva, JSC "Acron" (Nizhny Novgorod, Russia)*

Рассмотрены вопросы эффективности антислѣживающих добавок в нитроаммофоску. Результаты исследований доказывают их агроэкологическую эффективность на посевах риса. Отмечено не только преимущество новой формы нитроаммофоски в формировании продуктивности, но и улучшение качества зерна.

Ключевые слова: рис, удобрения, урожай, кремний, качество зерна.

Questions of the effectiveness of the anticaking additives to nitroammophoska are examined. The results of studies prove their agro-ecological effectiveness on sowings of rice. Not only the advantage of the new form of nitroammophoska in the formation of productivity, but also an improvement in the quality of grain is noted.

Key words: fig, fertilizer, harvest, silicon, the quality of the grain.

E-mail: nikolaeva@vnov.acron.ru

Применение минеральных удобрений в условиях орошения – обязательный агротехнический приём, так как без него невозможно получить высокий и устойчивый урожай риса. Агрохимические средства позволяют более экономно расходовать влагу, повышают плодородие почв, и, независимо от направления современного земледелия, в обозримом будущем никакой альтернативы химизации нет. В настоящее время достаточно хорошо изучен вопрос агроэкологической эффективности применения под рис комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений, с определенным соотношением элементов, с учетом уровня плодородия почв и особенностей возделываемых сортов культуры. Однако специфические условия возделыва-

вания и потребности растений риса в элементах питания требуют применения достаточно широкого ассортимента минеральных удобрений.

Азотным удобрениям принадлежит ведущая роль в повышении продуктивности риса и улучшении химического состава зерна. На рисовых полях более эффективны удобрения, в которых азот содержится в аммиачной (сульфат аммония, хлористый аммоний) или амидной формах (мочевина или карбамид) [1, 2], так как аммиачные соединения не проникают глубже 50 см, лишь нитратный азот вымывается за пределы 50-70 см и глубже.

Как установлено, постоянный слой воды предотвращает возможное превращение аммонийного азота удобрений и почвы в нитратную форму, а также значительных его потерь в результате денитрификации нитратов, имеющих место при режиме орошения по типу укороченного затопления. При исключении длительных просушек чеков в период получения всходов и обработок гербицидами, вся доза азота может быть внесена перед посевом риса, чтобы в критический период (фазу всходов – начало кушения) обеспечить оптимальные условия питания для ростовых процессов вегетативных органов [3]. Однако хорошая растворимость и подвижность в почве азотных удобрений не всегда экономически и экологически выгодны, так как в условиях промывного водного режима легкорастворимые формы удобрений могут вымываться из корнеобитаемого слоя. Для снижения потерь азота удобрений и повышения их эффективности разрабатывается технология производства удобрений с замедленным освобождением азота путем покрытия гранул различными материалами.

Из фосфорных удобрений под рис пригодны все виды фосфатов, в том числе в составе комплексных удобрений, например нитроаммофоски – универсального удобрения, имеющего полный комплекс трех основных питательных элементов в хорошо усваиваемой растениями форме. Азот в удобрении содержится в аммонийной форме, медленно вымывающейся из почвы, что позволяет использовать удобрение даже для осеннего внесения. Все компоненты присутствуют в одной грануле, благодаря этому возможно более равномерное распределение всех действующих веществ в почве. Это физиологически нейтральное удобрение, а также самый распространенный вид удобрения, где N, P, K содержатся приблизительно в равных долях. Удобрение можно использовать на всех почвах под любые культуры и пригодно для всех способов внесения: основного (при вспашке или культивации весной или осенью), припосевного и для подкормки с заделкой в почву или поверхностно.

На посевах риса нитроаммофоска практически не применяется. Вместе с тем, исходя из состава этого удобрения, оно должно быть эффективно при внесении перед посевом, для обеспечения растений риса легкодоступными формами питательных элементов на самых ранних этапах онтогенеза, когда корневая система у них еще недостаточно развита и обладает слабой поглощающей способностью. По этой же самой причине существует большая вероятность использования этого удобрения для первой корневой подкормки (в фазе всходов) посевов риса.

Исследованиями научно-исследовательских институтов показана высокая агрохимическая и экономическая эффективность нитроаммофоски в различных климатических зонах на всех типах почв, но в большей степени на серых лесных, черноземных и каштановых различного гранулометрического состава, в том числе при орошении [4].

Решения продовольственной программы должны быть направлены на дальнейшее повышение качества выпускаемых минеральных удобрений, товарные свойства которых должны обеспечивать длительное хранение с сохранением физико-механических параметров, в том числе 100 % рассыпчатость, а также равномерность внесения их в почву. Гранулы удобрения обладают слабой гигроскопичностью, поэтому определённое время не теряют своих свойств, однако не разрешается долгое хранение, так как, слеживаясь, оно может начать нагреваться, что приводит при нагревании выше 200 °С к разложению удобрения. Поэтому добавление антислеживающих добавок является актуальной проблемой выпуска безопасных форм минеральных удобрений, не теряющих своих свойств при длительном хранении. Наряду с повышением сыпучести удобрения, что очень важно в технологии применения удобрений в связи со специфическими условиями возделывания культуры, несколько замедляется его растворение, что существенно сокращает потерю азота при затоплении рисового поля. Благодаря разнообразию выпускаемых марок нитроаммофоски это удобрение может быть подобрано индивидуально, с учетом особенностей типа почвы и выращиваемой культуры.

Антислеживающие агенты препятствуют слеживанию и комкованию, а также они эффективно противодействуют пылению удобрений. Действие агентов основано на адсорбировании влаги или образовании тонких гидрофобных слоев между частицами удобрения. В результате решаются проблемы, связанные с гигроскопичностью веществ, преждевременным протеканием реакций между компонентами удобрения. В качестве антислеживающих агентов используются инертные неорганические вещества в виде тонкодисперсных порошков. С целью улучшения физико-химических и агрохимических свойств нитроаммофоски в состав нитроаммофоски на ОАО «Акрон» (г. Великий Новгород) вводится аморфный кремнезем или сиштоф. При этом повышается прочность гранул удобрения. Сиштоф и аморфный кремнезем получают на предприятии в процессе переработки нефелина. Массовая доля диоксида кремния SiO_2 в аморфном кремнеземе составляет 80-85 %, в сиштофе 50-60 % [5].

Введение в состав удобрения кремния – рациональный прием, не только существенно улучшающий качество удобрения, но и удовлетворяющий потребность растений в кремнии. Ральф Айлер в своих трудах указывал: «Насколько вода является уникальной жидкостью, настолько и аморфный кремнезем уникален как твердое вещество. Они во многом схожи» (цит. Айлер Р.К., 1959). Установлено, что несмотря на высокое содержание кремния в почве, доля подвижных его форм невелика, согласно расчетам, баланс кремния в зоне рисосеяния Кубани отрицательный [7]. Это может быть связано с его выносом растениями риса, в тканях которого содержится от 5-10

до 20 % этого элемента, а также потерями со сбросными и фильтрационными водами [8]. В связи с этим внесение под рис кремнийсодержащих удобрений должно стать обязательным агрохимическим приемом.

Исследованиями доказано, что кремний в оптимальных дозах способствует лучшему обмену в тканях азота и фосфора, особенно зерновых культур, повышает потребление микроэлементов, в том числе бора, обеспечивает снижение токсичности избыточных количеств марганца, железа и алюминия. Оптимизация кремниевого питания растений приводит к увеличению площади листьев и создает благоприятные условия для биосинтеза пластидных пигментов. В таких условиях у растений формируются более прочные клеточные стенки, в результате чего снижается опасность полегания посевов, а также поражения их болезнями и вредителями (8). “Кремний выполняет большое количество функций в жизни растений, и особенно важен в стрессовых условиях” [6].

Однако кремнийсодержащие удобрения в практике рисоводства практически не применяются, что связано с отсутствием рекомендаций по технологии их применения, учитывающих региональные особенности и специфику возделываемых сортов, а также недостаточной изученностью вопроса эффективности различных соединений кремния на посевах риса.

Цель наших исследований состояла в выявлении фитотоксичности и агроэкологической эффективности новой формы комплексного удобрения нитроаммофоски с антислэживающим агентом на основе SiO_2 .

Результаты учета урожая риса свидетельствуют о том, что по влиянию на развитие растений риса нитроаммофоска без добавок (в схеме опыта названа по ТУ) и нитроаммофоска с добавкой SiO_2 существенно различались. Удобрение удерживается в грунте длительное время, что позволяет широко использовать нитроаммофоску в рисоводстве. Выявлено, что нитроаммофоска способствует не только повышению питательной ценности и урожайности риса, но и обеспечивает повышенную прочность стебля, препятствует полеганию растений под воздействием атмосферных факторов.

Фенологические и биометрические наблюдения показали, что введение с состав нитроаммофоски двуокиси кремния не оказало влияния на скорость прорастания семян и всхожесть семян, во всех вариантах она не отличалась от контроля. Однако использование нитроаммофосок с антислэживающими агентами обеспечивало лучшую сохранность растений к уборке урожая. В наибольшей мере на выживаемость растений влияла нитроаммофоска с 2,0 % SiO_2 . При ее внесении до посева к уборке на 1 м² произрастало на 25 растений больше, чем в варианте с нитроаммофоской по ТУ и на 48 в сравнении с контролем. Выявлены достоверные различия в выживаемости растений (%): на контроле – 74,4, при внесении нитроаммофоски по ТУ – 76,4, на фоне нитроаммофоски +0,2 % SiO_2 – 77,9, нитроаммофоска +2,0 % SiO_2 – 78,3 (НСР₀₅ 3,1 %). Увеличение концентрации кремнезёма в удобрении не способствовало повышению уровня исследуемого показателя, различия в сравнении с вариантом “нитроаммофоска +0,2 % SiO_2 ” были не достоверны. Повышение выживаемости растений в случае использования

удобрений, содержащих кремний, возможно, связано с тем, что кремний положительно влияет на поглощение растениями риса элементов минерального питания, в том числе азота (9), фосфора, молибдена (10), калия, кальция (11). Кроме того, кремний оказывает стимулирующее действие на защитные функции растений, в результате чего повышается их устойчивость к физиологическим болезням, возникающим при комплексном воздействии пестицидов, сероводорода, анаэробнозиса, тяжелых элементов и т.д. [7].

Рост растений – это процесс новообразования органов и тканей, и интенсивность его определяется, прежде всего, обеспеченностью растений элементами минерального питания, оптимизируя которое, можно направленно влиять на обмен веществ и продуктивность растений. Этот параметр интересовал нас, прежде всего, как интегральное выражение жизнедеятельности растений в условиях применения различных форм нитроаммофоски и как индикатор проявления фитотоксичности (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика накопления сухой массы надземных органов растений риса при внесении различных форм нитроаммофоски

Вариант	Высота растений, см	Фаза вегетации			
		всходы	кущение	выметывание	восковая спелость зерна
		масса растений, г/раст			
Контроль, б/удобр.	108,5	0,35	3,49	6,96	7,01
нитроаммофоска ТУ	115,3	0,39	3,63	7,13	7,82
нитроаммофоска с 0,2 % SiO ₂	118,5	0,43	3,72	7,51	7,92
нитроаммофоска с 2,0 % SiO ₂	119,0	0,44	3,66	7,46	7,99
НСП ₀₅	7,0	0,07	0,15	0,18	0,21

Анализ высоты растений по фазам вегетации риса не выявил фитотоксичности, отмечена тенденция к увеличению интенсивности роста при внесении нитроаммофоски с 0,2 % SiO₂. Отличия от контроля и нитроаммофоски по ТУ составили в среднем за три года 9,2 и 3 %, соответственно. Различия между вариантами с различным содержанием агента были не достоверны и малозначимы. Изучаемые формы нитроаммофоски в разной мере влияли на биосинтез органических соединений и связанный с ним процесс накопления сухого вещества растений. Различия проявлялись уже в фазе всходов: масса растений вариантов с внесением нитроаммофоски с 0,2 и 2,0 % SiO₂ была на 10,3 и 12,8 % больше в сравнении с вариантом нитроаммофоска по ТУ. Различия по вариантам сохранялись до конца вегетации, однако разница в величинах существенно сократилась и в фазе восковая спелость составляла лишь 1,5 и 2,1 %, соответственно.

Такая динамика биосинтеза сухого вещества обусловлена, возможно, различным обеспечением растений подвижными соединениями азота, фосфора и калия. Добавление антислеживающих агентов на основе SiO₂ замедляет растворение удобрения и высвобождение в почвенный раствор элементов питания. Этим объясняется тенденция к более медленному, чем в контроле, росту растений и накоплению ими сухого вещества. Во второй половине вегетации при внесении удобрения с добавками уже выше обеспеченность растений азотом, фосфором и калием в этих вариантах вследствие меньшей потери элементов питания из почвы, обусловленной более продолжительным периодом растворения.

Растения 90–95 % сухого вещества формируют за счет фотосинтеза, для успешного протекания которого необходима, в первую очередь, развитая ассимиляционная поверхность. В начале онтогенеза (период всходы – кущение) различий по влиянию различных форм нитроаммофоски на площадь листовой поверхности растений не выявлено (табл. 2). К фазе выметывания, когда площадь листьев на растении достигает максимальной величины, достоверно большая, чем в контроле, она была при внесении нитроаммофоски, содержащей 2,0 % SiO_2 .

Таблица 2 – Динамика формирования листовой поверхности растений риса при внесении различных форм нитроаммофоски

Вариант	Фаза вегетации			
	всходы	кущение	выметывание	восковая спелость зерна
	площадь листьев, $\text{см}^2/\text{раст.}$			
Контроль	11,22	94,84	152,86	93,45
нитроаммофоска ТУ	11,00	95,06	170,59	95,08
Нитроаммофоска + 0,2 % SiO_2	11,61	98,50	175,68	95,94
нитроаммофоска + 2,0 % SiO_2	11,65	99,23	178,96	96,20
НСР ₀₅	1,21	7,25	14,06	5,6

Исследование структуры продуктивности растений риса в условиях применения нитроаммофоски с различным содержанием в своём составе двуокиси кремния не выявило достоверного влияния на продуктивную кустистость, длину метёлки и пустозерность. На всех вариантах они были практически одинаковыми, с незначительным преимуществом в варианте при внесении удобрения с 2,0 % SiO_2 . Кремний, содержащийся в удобрении, оказывал положительное влияние на массу зерна с главной метелки и 1000 зерен. Эти показатели возрастали при увеличении количества этого элемента в удобрении (табл. 3).

Таблица 3 – Биометрические показатели растений риса при внесении нитроаммофоски с добавкой двуокиси кремния

Вариант опыта		Длина метелки, см	Продуктивная кустистость, шт/раст.	Пустозерность, %	Масса зерна, г	
					с главной метелки	1000 зерен
Без удобрений		16,4	1,2	13,6	3,3	27,1
нитроаммофоска	по ТУ	17,2	1,3	14,5	3,7	28,0
	+0,2 % SiO_2	18,0	1,4	13,5	3,9	28,5
	+2,0 % SiO_2	18,1	1,4	13,8	3,9	28,6
НСР ₀₅		1,1	0,2	2,0	0,5	1,4

В проведенных полевых опытах полегания и инфицирования посевов не наблюдалось. Эффективность различных норм добавки SiO_2 была практически одинакова. Все формы нитроаммофоски обеспечивали рост урожайности по сравнению с контролем. Максимальная урожайность зерна риса получена в варианте применения нитроаммофоски с добавкой 2,0 % SiO_2 – в среднем за три года урожай на этом варианте составил 70,2 ц/га, получена существенная прибавка урожая в сравнении с удобрением по ТУ на 5,1 ц/га, или на 7,8 %. Установлена и стабильная тенденция к увеличению продуктивности посева по

отношению к удобрению без антислѣживающей добавки. Различия между вариантами с различным содержанием SiO_2 не достоверны (табл. 4).

Таблица 4 – Урожайность зерна риса на лугово-черноземной почве при использовании нитроаммофоски с различным содержанием двуокиси кремния

Вариант	Урожай, ц/га	Прибавка урожая		
		к контролю		за счет добавки, ц/га
		ц/га	%	
Без удобрений	49,2	–	–	–
Нитроаммофоска по ТУ	65,1	15,9	32,3	–
Нитроаммофоска + 0,2 % SiO_2	69,8	20,6	41,9	4,7 (7,2%)
Нитроаммофоска + 2,0 % SiO_2	70,2	21,0	42,7	5,1 (7,8%)
НСР ₀₅	3,1			

Можно полагать, что применение новой формы удобрения положительно сказалось на обмене веществ в растениях, повышении их устойчивости к полеганию, болезням и вредителям, что подтверждается многочисленными литературными источниками. Поскольку не выявлено токсичности, а наоборот, выявлено положительное влияние добавки в форме SiO_2 , можно рекомендовать к использованию нитроаммофоску с различной концентрацией добавки в зависимости от региона применения и условий возделывания культур.

Одним из основных показателей агроэкологической эффективности агрохимикатов является степень использования растениями элементов питания из удобрения, определяемая соотношением его выноса урожаем и поступлением с удобрением. Для расчета этих показателей определяли содержание в вегетативных органах и зерне риса азота, фосфора и калия. В листостебельной массе растений в вариантах с применением нитроаммофоски содержалось меньше, чем в контроле азота на 0,10–0,15 %, фосфора – 0,04–0,06 %, калия на 0,15–0,20 % (табл. 5). Это свидетельствует об усиленной аттракции элементов питания из вегетативных органов в зерновки риса.

Таблица 5 – Содержание азота, фосфора и калия в надземных органах риса при внесении нитроаммофоски с различным содержанием двуокиси кремния

Вариант опыта	Содержание элементов в растении, %					
	листья + стебли			зерно		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Контроль	0,78	0,28	2,24	1,28	0,64	0,36
Нитроаммофоска по ТУ	0,63	0,24	2,04	1,18	0,56	0,31
Нитроаммофоска + 0,2 % SiO_2	0,68	0,24	2,09	1,28	0,62	0,35
Нитроаммофоска + 2,0 % SiO_2	0,67	0,22	2,06	1,32	0,69	0,38
НСР ₀₅	0,20	0,15	0,21	0,12	0,05	0,02

Вынос элементов определяется их содержанием в урожае и его величиной. Установлено, что на вариантах с нитроаммофоской, содержащей SiO_2 , достоверно повышается содержание азота, фосфора и калия в зерне риса в сравнении с вариантом с применением нитроаммофоски по ТУ, соответственно, на 0,04, 0,05 и 0,38 %. Вынос элементов питания с урожаем

риса при внесении традиционных удобрений и нитроаммофоски с добавкой двуокиси кремния был практически одинаков (табл. 6).

Таблица 6 – Вынос азота, фосфора и калия урожаем риса при внесении нитроаммофоски с различным содержанием двуокиси кремния

Вариант		Вынос элементов питания, кг/га								
		зерном			побочной продукцией			Хозяйственный вынос		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль		83,2	41,6	23,4	50,7	18,2	145,6	133,9	59,8	169,0
нитроаммофоска	по ТУ	85,6	40,6	22,5	45,7	17,4	147,9	131,3	58,0	170,4
	+0,2 % SiO ₂	101,8	49,3	27,8	54,1	19,1	166,2	155,9	68,4	194,0
	+2,0 % SiO ₂	104,1	54,4	30,0	52,9	17,4	162,5	157,0	71,8	192,5

При использовании модифицированных нитроаммофосок в среднем за три года хозяйственный вынос азота увеличивался, по сравнению с контролем, на 22,0–23,1 фосфора – 8,6–12,0, калия – 23,5–25,0 кг/га. Вынос азота и фосфора растениями наибольший, главным образом, за счет основной продукции, а калия – побочной. Все это свидетельствует об эффективном использовании растениями элементов питания. При этом отмечено, что наличие SiO₂ в удобрении способствовало увеличению стекловидности зерна на 1,0 % и снижению трещиноватости на 1,4 %, что обеспечивало повышение выхода крупы на 1,1 % и целого ядра на 2,0 %, и оказывало положительное влияние на биохимические показатели качества зерна – содержание белка, крахмала, золы (табл. 7).

Таблица 7 – Качество зерна риса при внесении нитроаммофоски с различным содержанием двуокиси кремния

Показатели качества зерна риса, %	Варианты опыта			
	контроль	нитроаммофоска		
		по ТУ	+ 0,2 % SiO ₂	+ 2,0 % SiO ₂
Белок	7,02	7,01	7,06	7,13
Крахмал	70,84	70,92	70,98	71,06
Зола	4,04	4,02	4,09	4,14
Стекловидность	97,2	97,0	97,9	98,2
Трещиноватость	12,4	12,8	11,8	11,0
Пленчатость	18,2	18,0	18,3	18,4
Выход крупы	67,4	67,4	68,0	68,5
Содержание целого ядра в крупе	72,6	72,5	73,9	74,6

Так как в вариантах опыта доза NPK одинаковая, то увеличение, пусть и незначительное, выноса свидетельствует, что удобрение используется эффективнее, и, следовательно, меньше его теряется, не загрязняя сбросные и фильтрационные воды.

Таким образом, использование модифицированных нитроаммофосок наиболее полно обеспечивает требования растений в минеральном питании и выполняет также экологические функции, защищая окружающую среду от загрязнения.

Исследование эффективности нитроаммофоски, обогащенной кремнием, выявило преимущество модифицированных форм удобрений, которые обладают хорошими физическими свойствами, при внесении равно-

мерно распределяются по поверхности поля. Применение удобрения под рис эффективно, обеспечивает повышение роста растений на 21,4–22,3 %, увеличение продуктивности метелки, содержания в зерне риса азота, фосфора и калия, выноса с урожаем NPK, соответственно, на 22,0–23,1, 8,6–12,0 и 23,5–25,0 кг/га. Отмечено снижение на 1,4 % трещиноватости зерна, повышение выхода крупы на 1,1 %, целого ядра – на 2,0 % и стекловидности зерна на 1,0 %. Применение новой формы нитроаммофоски в условиях орошения перспективно, экологически и экономически выгодно. Снижение затрат на внесение удобрения обусловлено тем, что перед посевом можно вносить одну нитроаммофоску, а обычно рекомендуют вносить два удобрения – аммофос и калийную соль. Следовательно, исключаются работы по смешиванию удобрений.

Таким образом, новые формы нитроаммофоски могут быть рекомендованы к использованию на посевах риса в качестве эффективного поликомпонентного удобрения. Вносить его необходимо до посева под предпосевную культивацию, а также для корневой подкормки посевов в фазе всходов или в начале кущения растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрений / Под ред. В.Н. Ефимова. – М. : Колос, 2003. – 320 с.
2. Шеуджен А.Х., Кизинёк С.В. Удобрение риса. Гурипп “Адыгя”. – Майкоп, 2004. – 147 с.
3. Лукьянова И.В., Кондратенко Л.Н. Минеральное питание и оптимизация параметров архитектоники растений риса // Математика, образование, экология и здоровье человека : Тез. докл. V Междунар. конф. – Астрахань, 2000. – С. 130.
4. Новиков А.А. Удобрения и химические средства защиты растений в системе возделывания сельскохозяйственных культур в Ростовской области // Сб. науч. тр. / Дон. гос. аграр. ун-т. пос. Персиановский, 1998. – С. 114–116.
5. Айлер Р. К. Химия кремнезема : В 2-х т. – М. : Мир, 1982. – 1127 с.
6. Айлер Р. К. Коллоидная химия кремнезема и силикатов. – М., 1959. – 286 с.
7. Шеуджен А.Х., Алешин Н.Е. Теория и практика применения микроудобрений в рисоводстве. – Майкоп, 1996. – 314 с.
8. Алешин Н.Е., Авакян Э.Р. К вопросу о кремниевом обмене риса // Бюл. НТИ ВНИИ риса. – 1978 (1979). – Вып. 26. – С. 16.
9. Sadanandou A.K., Varghese E.J. Agr. Res. J. Kerorla. 1969. V. 7. P. 91.
10. Wallace A. Regulation of the Micronutrient Status of Plants by Chelating Agents and Other Factors. Wallace A., Ed., Los Angeles. 1971. 309 p.

УДК 504.75

ПРОФИЛАКТИКА ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ

© О.А. Логвина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© С.Ю. Ефремова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

RECYCLED WATER POLLUTION PREVENTION

© О.А. Logvina, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© S.U. Efremova, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена определению необходимых сроков замены труб водопровода с целью профилактики вторичного загрязнения воды и её утечек.

Ключевые слова: вторичное загрязнение, водопроводные трубы, нормальное распределение, математическое ожидание.

The article is devoted to defining the necessary terms of replacement of plumbing work to prevent secondary contamination and leakage.

Key words: secondary pollution, water pipes, the normal distribution, the expectation.

E-mail: Olga_kr@list.ru

Питьевая водопроводная вода должна быть безопасна в эпидемиологическом отношении, безвредна по химическому составу и соответствовать гигиеническим нормативам перед ее поступлением в распределительную и внутреннюю водопроводную сеть. Лабораторный контроль качества питьевой воды осуществляется постоянно, однако риск присутствия некоторого количества опасных загрязнителей сохраняется, несмотря на то что водочистные станции избавляют воду от вредных примесей.

Учеными принято разделять загрязнение воды на первичное и вторичное. Первичное загрязнение формируется за счет паводковых стоков, утечек при транспортировке нефтепродуктов, сбросов производственных отходов и канализации в источники питьевой воды.

К потребителю вода подается по старым некачественным системам водоснабжения, где и происходит вторичное загрязнение. Водопроводные трубы подвергаются коррозии, в них образуются ржавые пятна, появляются трещины, происходит утечка воды (в целом до 30-35 % по стране) и проникновение загрязнителей, что наносит не меньше вреда, чем первичное загрязнение. Особенно это опасно в тех случаях, когда водоносные магистрали проходят рядом с канализационными стоками, при этом существует реальная угроза обмена между этими потоками.

В свою очередь ржавые трубы населены бактериями, что может послужить причиной возникновения кишечных инфекций.

Также железо, содержащееся в воде, может спровоцировать появление целых колоний железобактерий, представляющих опасность канцерогенной активностью продуктов своей жизнедеятельности. В результате кор-

ПРОФИЛАКТИКА ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ

розии в воду попадает окисленное трехвалентное железо, употребление такой воды вполне может привести к различного рода заболеваниям.

Единственный способ справиться с вторичным загрязнением – домашняя дополнительная очистка воды обычными бытовыми фильтрами. Однако это – частичная мера, а своевременная замена труб позволит не только избежать аварий на трубопроводе, но и обеспечит население водой, отвечающей санитарно-гигиеническим требованиям.

Для моделирования профилактических мероприятий произведем расчет характеристик надежности водопроводных труб, подверженных коррозионным отказам, имея лишь два параметра: минимальный срок службы звена системы составляет 10 лет, максимальный – 40 лет.

Водопровод представляет собой множество из N последовательно соединенных звеньев, следовательно, для исследования его отказов и надежности удобным и наиболее точным является использование логарифмически нормального распределения или распределения Вейбулла. Время работы до выхода из строя отдельного элемента системы подчиняется нормальному закону распределения (согласно центральной предельной теореме А.М. Ляпунова) как случайная величина, являющаяся суммой большого числа независимых случайных величин, отражающих влияние на скорость роста питтингов, следовательно, на время выхода элемента из строя под воздействием различных факторов. Принимаем средний срок службы звена $\bar{x} = 0,5(10 + 40) = 25$ лет за его математическое ожидание, получаем $M[T] = 25$ лет.

Нормальное распределение симметрично относительно своего математического ожидания, следовательно, доверительный интервал срока службы звена равен $\varepsilon = |10 - 25| = 40 - 25 = 15$ лет. Задавшись доверительной вероятностью $\beta = 0,95$ и используя распределение Стьюдента, из формулы

$$\varepsilon = \frac{t_{\beta} \sigma_t}{\sqrt{n}} = t_{\beta} \sigma_t \quad \text{находим} \quad \sigma_t = \frac{\varepsilon}{t_{\beta}} = \frac{15}{1,96} = 7,65 \text{ лет.}$$

Поскольку статистика по срокам службы отдельных элементов отсутствует, проведем моделирование нормально распределенной случайной величины T , математическое ожидание которой $M[T] = 25$, а среднее квадратическое отклонение $\sigma = 7,65$, для чего воспользуемся таблицей случайных чисел, равномерно распределенных на интервале $(0, 1)$, с пересчетом их в нормально распределенные по формуле

$$T_j = \sqrt{2}\sigma\left(\sum_{i=1}^6 R_i - 3\right) + M[T],$$

где R_i – равномерно распределенные случайные числа; T_i – нормально распределенные случайные величины.

Приводим вариационный ряд 20 частных значений случайных чисел: 9,00; 10,53; 11,28; 12,54; 16,20; 17,26; 18,03; 19,89; 20,15; 22,38; 23,89; 24,33; 26,96; 28,61; 29,01; 34,50; 36,26; 40,70; 45,63; 51,20 (лет).

Используя логарифмически нормальное распределение, определяем оценки его параметров для участка водопроводной трубы, состоящего из 20 звеньев

$$\mu = \frac{\sum \ln t_i}{N} = \frac{1}{20} (\ln 9,00 + \ln 10,53 + \ln 11,28 + \dots + \ln 51,20) = 3,105,$$

$$S_\mu = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (\ln t_i - \mu)^2} = 0,492$$

Математическое ожидание наработки участка трубы до появления отказа

$$m_t = e^{\mu + S_\mu^2 / 2} = e^{3,226} = 25,18 \text{ лет.}$$

Среднее квадратическое отклонение

$$S = \sqrt{e^{2\mu + S_\mu^2} (e^{S_\mu^2} - 1)} = 13,18 \text{ лет.}$$

Если вероятность безотказной работы системы не превышает 0,99, то логарифмически нормальный закон можно заменить нормальным законом с параметрами m_t и S_t и плотностью вероятностей

$$f(t) = \frac{1}{S_t \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(t - m_t)^2}{2S_t^2} \right\}, \text{ при этом вероятность выхода из строя}$$

водопроводной трубы можно определять с помощью таблиц функции Лапласа. Поскольку параметры m_t и S_t уже рассчитаны выше, то можно решать различные вопросы прогнозирования, такие как расчет необходимого запаса труб для замены поврежденных коррозией, определение вероятности выхода из строя водопровода или какой-либо его секции и ряд других вопросов прогнозирования в системах водоснабжения и водоотведения и в ряде других областей деятельности ЖКХ.

По существующим правилам эксплуатации водопроводных систем секции труб заменяют после обнаружения значительной утечки воды через них, т.е. поражение труб коррозией происходит раньше его обнаружения. Это приводит к потерям воды в результате утечки и к её вторичному загрязнению. Используя рассчитанные характеристики логарифмически нормального распределения, определим вероятности фактического выхода из строя водопровода за представляющие наибольший интерес промежутки времени.

1. Вероятность фактического повреждения коррозией водопровода с момента начала эксплуатации до момента обнаружения фактического повреждения водопровода (т.е. за 10 лет эксплуатации):

$$\begin{aligned}
 P(0 < T \leq 10) &= \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{t_2 - m_t}{S_t}\right) - \Phi\left(\frac{t_1 - m_t}{S_t}\right) \right] = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{10 - 25,18}{13,18}\right) - \right. \\
 &- \left. \Phi\left(\frac{0 - 25,18}{13,18}\right) \right] = \frac{1}{2} [\Phi(-1,16) - \Phi(-1,91)] = \frac{1}{2} [\Phi(1,91) - \Phi(1,15)] = \\
 &= \frac{1}{2} (0,9439 - 0,7799) = 0,0820.
 \end{aligned}$$

Здесь и далее $\Phi(Z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx$, $z_i = \frac{t_i - m_t}{S_t}$.

2. Вероятность обнаружения и, следовательно, замены поврежденных звеньев водопровода, поскольку такая замена производится сразу после обнаружения утечки воды через поврежденные звенья водопровода,

$$P(10 \leq T \leq 40) = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{40 - 25,18}{13,18}\right) - \Phi\left(\frac{10 - 25,18}{13,18}\right) \right] = 0,7586.$$

Следовательно, вероятность обнаружения поврежденных труб в течение 40 лет с начала эксплуатации нового водопровода составляет

$$\begin{aligned}
 P(0 < T \leq 40) &= P(0 < T \leq 10) + P(10 < T \leq 40) = 0,0820 + 0,7586 = \\
 &= 0,8406 \approx 0,84,
 \end{aligned}$$

т.е. в течение 40 лет эксплуатации нового водопровода ежегодно потребует замены в среднем $0,84 \cdot 0,04L$ труб, т.е. 33,6 м/(км. год).

3. В процессе длительной эксплуатации водопровода замена его поврежденных участков производится статистически равномерно, и, следовательно, в среднем ежегодной замене подвергается

$\frac{1}{x} = \frac{1}{25} = 0,04$ км/год общей длины трубопровода, т.е. в среднем 40 м труб на 1 км водопровода. Следовательно, средняя ежегодная потребность в водопроводных трубах составляет $0,04L$ км/год или 40 м/год на 1000 м длины водопровода.

Таким образом, полученные результаты позволяют рекомендовать в качестве профилактических мероприятий производить своевременно замену поврежденных участков водопроводных труб и избегать возможных утечек и вторичного загрязнения воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крючков Ю.О., Целикин И.А., Крючкова (Логвина) О.А., Таранцева К.Р. Количественная оценка отклонений в состоянии технических и биотехнических систем // Математические методы и информационные технологии

в экономике, социологии и образовании : Сборник статей XVIII международной НТК. – Пенза : ПГТА, 2006. – С. 94.

2. Бубнова Н.Я., Логвина О.А., Таранцева К.Р. Экологическая безопасность и техногенный риск // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы : Международная научно-практическая конференция. – Пенза : МНИЦ, 2007. – С. 49–53.

3. Логвина О.А., Казаков В.А. Анализ рисков при обеспечении безопасности газопроводов // Труды XXIII Международного симпозиума. – Маскат (Оман) : РГУИТиП, 2008. – С. 56.

4. Коновалов В.В., Логвина О.А. Моделирование состояния экологической системы // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал. – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 159–162. – (Экология).

5. Логвин Ю.О., Таранцева К.Р., Логвина О.А., Коновалов В.В. Моделирование безопасности и рисков на газопроводах // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал. – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 125–132. – (Экология).

6. Логвина О.А. Количественные критерии оценки состояния сложных систем // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал. – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 95–102. – (Экология).

7. Логвина О.А., Бубнова Н.Я., Горячева А.А., Логвин Ю.О. Проблема термального загрязнения // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Научно-методический журнал. – Пенза : ПГТА, 2012. – № 02(06). – С. 73–79. – (Экология).

**ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФИТОЦЕНОЗОВ
ВЕРХНЕГО ПЛАТО ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ
В ПРЕДЕЛАХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

© **Н.А. Леонова**, к.б.н., доцент, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **С.Н. Артёмова**, к.б.н., доцент, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **Д.А. Кулакова**, магистрант, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

**СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ
НА ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ ПЕНЗЕНСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА**

© **А.Г. Горохова**, аспирант, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **А.И. Иванов**, д.б.н., профессор, заведующий кафедрой, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

© **А.А. Костычев**, к.б.н., доцент, заместитель заведующего Центральной экоаналитической лабораторией РЦГЭКиМ по Пензенской области ФБУ «ГосНИИЭНП» (г. Пенза, Россия)

**СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА
ПОЧВООБИТАЮЩИХ РАКОВИНЫХ АМЕБ В ЛЕСОСТЕПНЫХ
БИОГЕОЦЕНОЗАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

© **А.С. Трулова**, аспирант, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **Е.А. Ембулаева**, к.б.н., научный сотрудник, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **Ю.А. Мазей**, д.б.н., профессор, проректор по международной деятельности, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ
КОРМОВЫХ БОБОВ В УСЛОВИЯХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

© **О.А. Тимошкин**, д.с.-х.н., доцент, зав. лабораторией селекции многолетних трав ГНУ Пензенский НИИСХ (г. Пенза, Россия)

© **Н.И. Остробородова**, к.б.н., доцент, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

© **О.И. Уланова**, канд. культурологии, доцент, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

**БИОИНДИКАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЫШЬЯКОМ
И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

© **А.Г. Горохова**, аспирант, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **А.И. Иванов**, д.б.н., профессор, заведующий кафедрой, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

© **О.В. Скобанева**, младший научный сотрудник РЦГЭКиМ по Пензенской области ФБУ “ГосНИИЭНП” (г. Пенза, Россия)

МЕТОДИКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭКОСИСТЕМ

© **И.А. Прошин**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Р.Д. Прошина**, к.т.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **П.В. Сюлин**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ЧИСЛА И ИНДЕКСЫ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ

© **О.А. Логвина**, к.т.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Ю.О. Логвин**, магистрант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ МУЛЬТИДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ БОЛЬНЫХ С ПОСТУРАЛЬНЫМ ДЕФИЦИТОМ

© **Т.В. Истомина**, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **И.А. Филатов**, д.т.н., ООО “БИОСОФТ-М” (г. Москва, Россия)

© **А.И. Сафронов**, д.м.н., профессор, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **В.В. Истомин**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Д.А. Загребин**, ООО “БИОСОФТ-М” (г. Москва, Россия)

© **Д.М. Пучиньян**, д.м.н., зам. директора по науке, ФГБУ ВПО СарНИИТО (г. Саратов, Россия)

© **А.В. Кондрашкин**, ФГБУ ВПО СарНИИТО (г. Саратов, Россия)

© **С.А. Карпицкая**, ГБОУ ДПО “Пензенский институт усовершенствования врачей” (г. Пенза, Россия)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТЕЛ

© **А.В. Киреев**, к.т.н., старший научный сотрудник, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Э.Р. Эмурлаева**, студентка, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ БАРАБАННЫМ СМЕСИТЕЛЕМ

© **В.В. Коновалов**, д.т.н., профессор, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Н.В. Димитриев**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **А.А. Курочкин**, д.т.н., профессор, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Г.В. Шабурова**, к.т.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

© **Т.В. Истомина**, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **О.А. Мещеряков**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

К ВОПРОСУ ПРИМЕНИМОСТИ ПРИБЛИЖЕННОЙ ТЕОРИИ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ЗАМЕЩЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПИВОВАРЕНИИ

© **В.В. Коновалов**, д.т.н., профессор, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **С.В. Родин**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

© **М.А. Сидорова**, к.т.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **С.Ю. Костенков**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Д.С. Осипов**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ПАЦИЕНТОВ

© **М.А. Сидорова**, к.т.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **П.К. Строков**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ
СЫВОРОТКИ КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ С ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ
БОЛЕЗНЬЮ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)**

© **Н.Ю. Келина**, д.б.н., профессор, заведующая кафедрой, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Т.Ю. Мамелина**, преподаватель, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **О.А. Куликова**, преподаватель, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **С.Н. Чичкин**, к.с.-х.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ТЕХНОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ
ПАЦИЕНТОВ С ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ НА ОСНОВЕ
ИММУНО-БИОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЫВОРОТКИ КРОВИ**

© **Н.Ю. Келина**, д.б.н., профессор, заведующая кафедрой, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **В.В. Пикулин**, к.т.н., профессор, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Т.Ю. Мамелина**, преподаватель, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **С.Н. Чичкин**, к.с.-х.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ
КРОВИ ПРИ СКРИНИНГОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПАТОЛОГИЙ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

© **М.А. Сидорова**, к.т.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Н.А. Сержантова**, к.т.н., ст. преподаватель, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УЩЕРБА
ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В РЕГИОНЕ**

© **Н.А. Черняева**, доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **В.Ф. Шишов**, к.э.н., профессор, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО ПО СОСТАВУ СПЛАВА
ОЛОВО-ЦИНК КАК АЛЬТЕРНАТИВА КАДМИЕВОМУ ПОКРЫТИЮ**

© **К.Р. Таранцева**, д.т.н., профессор, проректор по науке, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **А.Д. Николотов**, аспирант, ФГУП ФНПЦ "ПО "СТАРТ им. М.В. ПРОЦЕНКО" (г. Заречный, Пензенская область, Россия)

© **Э.Р. Эмурлаева**, студентка, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**РЕЦИКЛИНГ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ
ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ**

© **Н.И. Зубрев**, к.т.н., профессор, Московский государственный университет путей сообщения (г. Москва, Россия)

© **М.В. Устинова**, к.т.н., старший преподаватель, Московский государственный университет путей сообщения (г. Москва, Россия)

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ**

© **И.А. Прошин**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **П.В. Сюлин**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**СИСТЕМА УЧЁТА АКУСТИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА
САМОЛЁТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВИАЦИИ В НОЧНОЕ ВРЕМЯ**

© **Н.И. Николайкин**, д.т.н., профессор, Московский государственный технический университет гражданской авиации (г. Москва, Россия)

© **Ю.А. Большунов**, аспирант, Московский государственный технический университет гражданской авиации (г. Москва, Россия)

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОГО
МЕТОДА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА ОТ СОЕДИНЕНИЙ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМА**

© **К.Р. Таранцева**, д.т.н., профессор, проректор по науке, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **А.А. Сергунов**, аспирант, ФГУП ФНПЦ “ПО “Старт им. М.В. Проценко” (г. Заречный, Пензенская область, Россия)

© **А.Д. Николотов**, аспирант, ФГУП ФНПЦ “ПО “Старт им. М.В. Проценко” (г. Заречный, Пензенская область, Россия)

**ВЛИЯНИЕ РИЗОТОРФИНА НА СИМБИОТИЧЕСКУЮ
АЗОФИКСАЦИЮ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИКИ
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ЧЕРНОЗЁМЕ**

© **Н.И. Аканова**, д.б.н., профессор, главный научный сотрудник ГНУ, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (г. Москва, Россия)

© **Е.Д. Двойникова**, аспирант, ГНУ, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (г. Москва, Россия)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ
НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

© **А.Н. Бормотов**, д.т.н., профессор, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **М.В. Кузнецова**, к.т.н., доцент, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Е.А. Колобова**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД В ПРОСТРАНСТВЕ ВЕКТОРА
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

© **И.А. Прошин**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **П.В. Сюлин**, аспирант, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ РИСА

© **А.Х. Шеуджен**, д.б.н., член-корреспондент РАСХН, ГНУ, Всероссийский научно-исследовательский институт риса Россельхозакадемии (г. Краснодар, Россия)

© **О.А. Гуторова**, к.б.н., руководитель группы ГНУ, Всероссийский научно-исследовательский институт риса Россельхозакадемии (г. Краснодар, Россия)

© **Н.И. Аканова**, д.б.н., профессор, главный научный сотрудник ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (г. Москва, Россия)

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО МИНЕРАЛЬНОГО
УДОБРЕНИЯ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ “МЕГАМИКС”**

© **С.В. Кизинёк**, к.с.-х.н., директор ФГУП РПЗ “Красноармейский” им. А.И. Майстренко (г. Краснодар, Россия)

© **А.Н. Бурунов**, главный специалист ООО “СТИМУЛ” (г. Бор, Нижегородская область, Россия)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ТУРОВОГО МОНИТОРИНГА КИСЛОТНО-
ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПАХОТНЫХ ПОЧВ**

© **Н.А. Комарова**, к.б.н., зав. отделом ФГБУ ЦАС “Владимирский” (г. Владимир, Россия)

© **В.И. Комаров**, к.с.-х.н., директор ФГБУ ЦАС “Владимирский” (г. Владимир, Россия)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НИТРОАММОФОСКИ С АНТИСЛЁЖИВАЮЩИМИ ДОБАВКАМИ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

© **С.В. Кизинёк**, к.с.-х.н., директор ФГУП РПЗ “Красноармейский”
им. А.И. Майстренко (г. Краснодар, Россия)

© **М.В. Таук**, зам. директора ОАО Акрон (г. Великий Новгород, Россия)

© **А.Х. Шеуджен**, д.б.н., член-корреспондент РАСХН, ГНУ, Всерос-
сийский научно-исследовательский институт риса Россельхозакадемии
(г. Краснодар, Россия)

© **Н.И. Аканова**, д.б.н., профессор, главный научный сотрудник ГНУ,
Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Пря-
нишникова (г. Москва, Россия)

© **И.И. Николаева**, зам. начальника ЦХЛ ОАО Акрон (г. Великий
Новгород, Россия)

ПРОФИЛАКТИКА ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ

© **О.А. Логвина**, к.т.н., доцент, Пензенский государственный тех-
нологический университет (г. Пенза, Россия)

© **С.Ю. Ефремова**, д.б.н., профессор, Пензенский государственный
технологический университет (г. Пенза, Россия)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего *плюс***

Периодическое научное издание

**Серия: Экология
Том 1**

ISSN 2221-951X



Редактор Л.Ю. Горюнова
Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Н.Н. Зосимовой

Сдано в производство 09.07.11. Формат 70x108 ¹/₁₆
Бумага типогр. № 1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Сут.
Усл. печ. л. 19,34. Уч.-изд. л. 15,87. Заказ № 2313. Тираж 118.

Пензенский государственный технологический университет.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^а/11.