

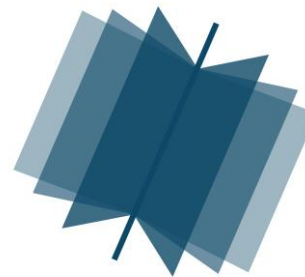
№ 10 (112) ▪ 2021
Часть 1 ▪ Октябрь

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

ISSN 2227-6017 ONLINE

Екатеринбург
2021



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: Соколова М.В.
Главный редактор: Меньшаков А.И.
Адрес издателя и редакции: 620137, г. Екатеринбург, ул.
Академическая, д. 11, корп. А, оф. 4.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org
16+

**№ 10 (112) 2021
Часть 1
Октябрь**

Дата выхода 18.10.2021
Цена: бесплатно.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких-либо ограничений. Тип лицензии CC, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Актуальная информация об индексации журнала в библиографических базах данных <https://research-journal.org/indexing/>.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: ЭЛ № ФС 77 - 80772.

Члены редколлегии:

Филологические науки:

Растягаев А.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Штрекер Н.Ю. к. филол. н., Калужский Государственный Университет имени К.Э. Циолковского (Калуга, Россия);
Вербицкая О.М. к. филол. н., Иркутский Государственный Университет (Иркутск, Россия).

Технические науки:

Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия);
Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия);
Герасимова Л.Г. д-р техн. наук, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (Апатиты, Россия);
Курасов В.С. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Оськин С.В. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия).

Педагогические науки:

Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия);
Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);
Лукиянова М.И. д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);
Ходакова Н.П. д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

Психологические науки:

Розенова М.И. д-р психол. наук, проф., Московский государственный психолого-педагогический университет (Москва, Россия);
Ивков Н.Н. д-р психол. наук, Российская академия образования (Москва, Россия);
Каменская В.Г. д-р психол. наук, к. биол. наук, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (Елец, Россия).

Физико-математические науки:

Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия);
Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Государственный Научный Центр ЦНИИчермет им. И.П. Бардина (Москва, Россия);
Свиштунов Ю.А. д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Географические науки:

Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к. техн. наук проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);
Брылеев В.А. д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);
Огуреева Г.Н. д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

Биологические науки:

Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);
Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского (Саратов, Россия);
Еськов Е.К. д-р биол. наук, проф., Российский государственный аграрный заочный университет (Балашиха, Россия);
Ларионов М.В., д-р биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия).

Архитектура:

Янковская Ю.С. д-р архитектуры, проф., Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Ветеринарные науки:

Алиев А.С. д-р ветеринар. наук, проф., Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия);
Татарникова Н.А. д-р ветеринар. наук, проф., Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова (Пермь, Россия).

Медицинские науки:

Никольский В.И. д-р мед. наук, проф., Пензенский государственный университет (Пенза, Россия);
Ураков А.Л. д-р мед. наук, Ижевская Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

Исторические науки:

Меерович М.Г. д-р ист. наук, к. архитектуры, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск, Россия);
Бакулин В.И. д-р ист. наук, проф., Вятский государственный университет (Киров, Россия);
Бердинских В.А. д-р ист. наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Россия);
Лёвочкина Н.А. к. ист. наук, к. экон. наук, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);
Блейх Н.О. д-р ист. наук, Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова (Владикавказ, Россия).

Культурология:

Куценков П.А. д-р культурологии, к. искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Искусствоведение:

Куценков П.А. д-р культурологии, к. искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Философские науки:

Петров М.А. д-р филос. наук, Института философии РАН (Москва, Россия);
Бессонов А.В. д-р филос. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);
Цыганков П.А. д-р филос. наук., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия);
Лойко О.Т. д-р филос. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

Юридические науки:

Костенко Р.В. д-р юрид. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Северо-Кавказский федеральный университет в г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);
Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);
Ергашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

Сельскохозяйственные науки:

Важов В.М. д-р с.-х. наук, проф., Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина (Бийск, Россия);
Раков А.Ю. д-р с.-х. наук, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Михайловск, Россия);
Комлацкий В.И. д-р с.-х. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Белгород, Россия);
Наумкин В.П. д-р с.-х. наук, проф., Орловский государственный аграрный университет.

Социологические науки:

Замараева З.П. д-р социол. наук, проф., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия);
Солодова Г.С. д-р социол. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);
Кораблева Г.Б. д-р социол. наук, Уральский Федеральный Университет (Екатеринбург, Россия).

Химические науки:

Абдиев К.Ж. д-р хим. наук, проф., Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);
Мельдешов А. д-р хим. наук, Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия).

Науки о Земле:

Горяинов П.М. д-р геол.-минерал. наук, проф., Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Апатиты, Россия).

Экономические науки:

Лёвочкина Н.А. д-р экон. наук, к. ист. н., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);
Ламоттке М.Н. к. экон. н., Нижегородский институт управления (Нижний Новгород, Россия);
Акбулаев Н. к. экон. н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан);
Кулиев О. к. экон. н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан).

Политические науки:

Завершинский К.Ф. д-р полит. наук, проф. Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Фармацевтические науки:

Тринеева О.В. к. фарм. н., Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия);
Кайшева Н.Ш. д-р фарм. наук, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия);
Ерофеева Л.Н. д-р фарм. наук, проф., Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия);
Папанов С.И. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);
Петкова Е.Г. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия);
Ураков А.Л., д-р мед. наук, Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Михеев А.В. О РЕШЕНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ФЕРХЮЛЬСТА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ВОЗМУЩЁННЫМИ НАЧАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ	6
--	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Гизатуллин Ф.А., Заико А.И., Петунин В.И., Габидуллина З.Г. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	12
---	----

Малий Д.В., Медведев П.Н. ПРОЦЕССЫ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ПОДЛОЖКОЙ	18
---	----

Овчинников Е.В., Чекан Н.М., Костюкович Г.А., Калынов Д.С. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА	23
--	----

Шоломова А.В., Титова Ю.В., Майдан Д.А., Амосов А.П. САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ СУБМИКРОННОГО ПОРОШКА НИТРИДА АЛЮМИНИЯ ИЗ СМЕСИ ПОРОШКОВ $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + z\text{Al}$	31
--	----

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Андропова А.А., Вайс А.А., Калачев В.А., Ануев Е.А. УСЛОВИЯ МЕСТПРОИЗРАСТАНИЯ КРАСНОКНИЖНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ АЛТАЕ-САЯНСКОГО ЭКОРЕГИОНА	38
--	----

Комарова О.П. УВЕЛИЧЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОЛЕЗНЫХ НАСЕКОМЫХ В АГРОЛАНДШАФТАХ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА	43
--	----

Ластушкина Е.Н., Пронюшкина А.С., Красковская Н.А. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ИНСЕКТИЦИДОВ В БОРЬБЕ С ВОСТОЧНЫМ КУКУРУЗНЫМ МОТЫЛЬКОМ В ПОСЕВАХ КУКУРУЗЫ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ	48
---	----

Мельникова К.В., Залесов С.В. ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА НА ДОЛЮ ЕЛИ В СОСТАВЕ ДРЕВОСТОЕВ ПО ЛЕСНЫМ РАЙОНАМ ПЕРМСКОГО КРАЯ	53
--	----

Суслов А.В., Шестаков А.В. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ НЕПРЕРЫВНОСТИ И НЕИСТОЩИТЕЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ НА АРЕНДУЕМОМ ЛЕСНОМ УЧАСТКЕ НА ТЕРРИТОРИИ СУХОЛОЖСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ	61
--	----

Щербаков Ю.С., Тыщенко В.И. БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ И ИХ СВЯЗЬ С ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ КАЧЕСТВАМИ	68
---	----

Юрина Н.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКВАПОННОГО МЕТОДА	73
--	----

ВЕТЕРИНАРНЫЕ НАУКИ / VETERINARY SCIENCE

Байсарова З.Т. ПАРАЗИТАРНЫЕ ДЕРМАТИТЫ У ОВЕЦ: ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ	77
--	----

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

Джапова Р.Р., Бембеева О.Г., Джапова В.В. КУТИКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ЭПИДЕРМИСА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫЕ	81
--	----

Мельников Ю.И. СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ ДИНАМИКИ В ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА	86
---	----

Никифорова Ю.Ю., Мельник О.А. ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО СВИНОГО НАВОЗА С ЦЕЛЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ	96
---	----

Созыкин А.А., Куличенко О.О. АДАПТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГЛАДКИХ МИОЦИТОВ МУСКУЛЬНОГО ОТДЕЛА ЖЕЛУДКА УТОК ВОКРУГ ПОЛИМЕРНОГО ИМПЛАНТАТА	100
Тишин А.С., Тишина Ю.Р. СРАВНЕНИЕ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА В ОЧИСТКЕ ПОЧВ И ГРУНТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ.....	106
Третьяков С.И., Ярков С.П. ИММУНОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СТАФИЛОКОККОВОГО ЭНТЕРОТОКСИНА ТИПА В С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА.....	113

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

Bondarchuk I.S., Bondarchuk S.S. INTEGRATION IN EXCEL WITHOUT MACROS ON THE EXAMPLE OF ARRHENIUS INTEGRAL	121
Соловьева Ю.В., Юстратов В.П., Васильева И.В., Голубева Н.С. АДСОРБЦИЯ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА И КАПРОЛАКТАМА ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ПРИСУТСТВИИ АКТИВНЫХ УГЛЯМИ	127
Федорова Н.Е., Ивченкова А.А., Бондарева Л.Г. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИМЕТИЛАМИНА В ВОДНЫХ ИСТОЧНИКАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА МЕТОДОМ ВЭЖХ	132

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS

Карева Н.Н., Швецова В.Д. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СТРАТЕГИЧЕСКАЯ КАРТА СОЦИАЛЬНО ОТВЕТСТВЕННОЙ АПТЕЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	137
Кубасова Е.Д., Корельская Г.В., Суханов А.Е., Крылов И.А., Кубасов Р.В. ОБНАРУЖЕНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КУМАРИНОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ ЛЮБИСТОКА ЛЕКАРСТВЕННОГО, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ	145
Митишев А.В., Моисеев Я.П., Курдюков Е.Е., Пронькина А.А., Семенова Е.Ф. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФИТОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭКСТРАКТА ХЛОРЕЛЛЫ.....	149

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / EARTH SCIENCES

Карев А.Н., Тюрин М.П. РАЗРАБОТКА АППАРАТА МОКРОЙ ОЧИСТКИ ВЫБРОСНЫХ ГАЗОВ И УТИЛИЗАЦИИ ИХ ТЕПЛОТЫ	153
Мокряк А.В., Парийская А.Ю. ПРОБЛЕМЫ ТЛЕЮЩИХ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ В ЛЕСАХ И АРКТИКЕ	159

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.001>**О РЕШЕНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ФЕРХЮЛЬСТА ВТОРОГО ПОРЯДКА
С ВОЗМУЩЁННЫМИ НАЧАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ**

Научная статья

Михеев А.В.*

ORCID: 0000-0001-5953-0346,

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (artem.v.miheev[at]gmail.com)

Аннотация

В данной работе рассматривается динамическая система, поведение которой описывается дифференциальным уравнением второго порядка, где фундаментальная система решений, состоящая из функций экспоненциального типа, заменена на ограниченные функции модели Ферхюльста. Исследуется вопрос зависимости поведения частного решения построенного дифференциального уравнения второго порядка от возмущения его начальных условий. Общий вид возмущения полагается имеющим вид многочлена второй степени, зависящего от вспомогательного параметра μ . Полученные результаты проиллюстрированы тестовым примером с конкретными численными данными и соответствующими им графиками. В качестве вспомогательных средств для проведения расчётов используются программные пакеты MathCAD и Wolfram Alpha.

Ключевые слова: модель Ферхюльста, дифференциальные уравнения, динамические системы, численное моделирование.

**ON THE SOLVING THE SECOND-ORDER VERHULST DIFFERENTIAL EQUATION
WITH PERTURBED INITIAL CONDITIONS**

Research article

Mikheev A.V.*

ORCID: 0000-0001-5953-0346,

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (artem.v.miheev[at]gmail.com)

Abstract

The article examines a dynamical system whose behavior is described by a second-order differential equation where the fundamental system of solutions consisting of functions of exponential type is replaced by bounded functions of the Verhulst model. The author investigates the question of the dependence of the behavior of a particular solution of the constructed second-order differential equation on the perturbation of its initial conditions. The general form of the perturbation is assumed to have the form of a polynomial of the second degree, depending on the auxiliary parameter μ . The obtained results are illustrated by a test example with specific numerical data and corresponding graphs. The MathCAD and Wolfram Alpha software packages are used as auxiliary tools for performing calculations.

Keywords: Verhulst model, differential equations, dynamical systems, numerical modeling.

Введение

При рассмотрении динамики процессов различной природы, таких как рост финансовых накоплений, увеличение численности колоний микроорганизмов, популяции людей и животных и т.д., наиболее эффективным инструментом является использование дифференциальных уравнений. Одна из первых моделей роста популяции была предложена еще в 1798 году австрийским демографом и экономистом Томасом Мальтусом. В своём фундаментальном труде «Опыт закона о народонаселении» [1] Мальтус выдвинул гипотезу, согласно которой неконтролируемый рост популяций всегда превосходит скорость роста источников, которые её поддерживают. Его предположение указывает на геометрическую прогрессию неконтролируемого роста популяции в сравнении с арифметической прогрессией роста источников питания.

В теории популяций уравнением Мальтуса называется уравнение вида

$$y'(t) = m \cdot y(t) \quad (1)$$

с решением экспоненциального типа

$$y(t) = y_0 \cdot e^{mt}, \text{ где } y(0) = y_0 \quad (2)$$

Интерпретируя решение уравнения (1), Мальтус утверждал, что в человеческом обществе существует абсолютный закон безграничного размножения особей. И поскольку рост численности человеческого общества опережает темпы роста продовольственных запасов, то, следовательно, неизбежна жестокая конкуренция среди людей за «место под солнцем»:

«Человек, появившийся на свет, уже занятый другими людьми, если он не получил от родителей средств к существованию и если общество не нуждается в его труде, не имеет никакого права требовать для себя пропитания, ибо он совершенно лишний на этом свете. На великом пиришестве природы для него нет прибора. Природа приказывает

ему удалиться, и если он не может прибегнуть к состраданию какого-либо из пирующих, она сама принимает меры к тому, чтобы её приказание было произведено в исполнение» [1].

Однако из-за большой скорости возрастания экспоненциальной функции модель Мальтуса применима к описанию реальных процессов только на начальном промежутке времени. Экспоненциальное возрастание популяции не может продолжаться достаточно долго, так как увеличение плотности популяции приводит к росту сопротивления внешней среды и снижению рождаемости. В качестве выхода из положения бельгийским математиком, профессором Брюссельского университета Пьером Ферхюльстом в работе [2] была предложена модель, близкая к экспоненциальной при $t \rightarrow 0$, вводящая «порог насыщения» – горизонтальную асимптоту $y = k$ при $t \rightarrow +\infty$. Функция (3) данной модели является решением дифференциального уравнения (4):

$$y(t) = \frac{ky_0 e^{mt}}{k - y_0 + y_0 e^{mt}} \quad (3)$$

$$y'(t) = my(t) \cdot \left(1 - \frac{y(t)}{k}\right) y(0) = y_0 \quad (4)$$

Подробный исторический обзор возникновения и развития представлений Ферхюльста дан в работе [3]. В статье [4] рассматривается вопрос расчёта динамической системы, описываемой дифференциальным уравнением второго порядка, в котором фундаментальная система решений, состоящая из функций экспоненциального типа, заменена на ограниченные функции (5) из модели Ферхюльста

$$Y_i(t) = \frac{ke^{\lambda_i t}}{k - 1 + e^{\lambda_i t}}, \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

удовлетворяющие начальным условиям $Y_i(0) = 1$, $i = 1, 2$ и ограниченные сверху горизонтальной асимптотой $y = k$. Функции $Y_i(t)$ составляют фундаментальную систему решений (ФСР) линейного дифференциального уравнения (ЛДУ) второго порядка с переменными коэффициентами:

$$Y''(t) + R(t)Y'(t) + S(t)Y(t) = 0 \quad (6)$$

При этом коэффициенты $R(t)$, $S(t)$ выражаются через элементы ФСР по формулам (7):

$$S(t) = \frac{\Delta_0(t)}{\Delta_2(t)}, \quad R(t) = \frac{\Delta_1(t)}{\Delta_2(t)} \quad (7)$$

Где

$$\Delta_0(t) = \begin{vmatrix} Y'_1(t) & Y'_2(t) \\ Y''_1(t) & Y''_2(t) \end{vmatrix}, \quad \Delta_1(t) = - \begin{vmatrix} Y_1(t) & Y_2(t) \\ Y''_1(t) & Y''_2(t) \end{vmatrix}, \quad \Delta_2(t) = \begin{vmatrix} Y_1(t) & Y_2(t) \\ Y'_1(t) & Y'_2(t) \end{vmatrix} \quad (8)$$

Проанализирована временная зависимость сил, воздействующих на динамическую систему, и проведено сравнение полученной зависимости с экспоненциальным случаем.

В статье [6] автором была исследована зависимость поведения частных решений уравнения (6) от вида начальных условий

$$Y(0) = a_0, \quad Y'(0) = b_0 \quad (9)$$

Было проведено построение т.н. «областей гарантированной монотонности» на плоскости параметров начальных условий, для которых решение исходного уравнения строго возрастает (строго убывает). На основе общего алгоритма нахождения корней производной и промежутков монотонности были проанализированы различные примеры поведения решений рассматриваемого уравнения. Были обнаружены три вида решений: функции с двумя экстремумами, с одним экстремумом, а также монотонные функции.

В статье [7] рассматривался вопрос численного интегрирования дифференциального уравнения (6) с заданными начальными условиями вида (9). Для этой цели использовалось два вида приближенных вычислений: расчёты в программе MathCAD [8] и представление решения в виде ряда Тейлора в окрестности точки, соответствующей начальным условиям [9], [10]. На основе рассматриваемого тестового примера проводилось сравнение приближенных данных с точным решением уравнения. Полученные результаты были представлены в аналитической и графической формах.

Динамическая система с моделью Ферхюльста

В рассматриваемой модели будем полагать (см. [10]), что отклонение динамической системы от ее начального состояния обусловлено наличием двух сил: «силы тяготения» $F_1 = -sy(t)$ и «силы сохранения» $F_2 = -ry'(t)$. Используя аналог закона Ньютона $ma = F_1 + F_2$ и полагая $m = 1$, получаем ЛДУ второго порядка с двумя начальными условиями (10), описывающее поведение системы:

$$y''(t) + ry'(t) + sy(t) = 0, y(0) = a, y'(0) = b \quad (10)$$

В простейшем случае коэффициенты r, s являются постоянными. Из общей теории ЛДУ второго порядка [10] следует, что при $r^2 - 4s > 0$ фундаментальная система решений (ФСР) состоит из двух функций экспоненциального типа $\{e^{\lambda_1 t}, e^{\lambda_2 t}\}$, где λ_1, λ_2 - корни характеристического уравнения. При дальнейших рассмотрениях будем считать, что $0 < \lambda_1 < \lambda_2$. Каждое из частных решений уравнения (10) описывает поведение динамической системы во времени. Заменяя ФСР уравнения (10) на функции вида (5), мы получим новое уравнение вида (6) с переменными коэффициентами.

Цель данной работы – исследовать поведение частных решений уравнения (6) при возмущениях начальных условий (11), заданных в виде зависимостей:

$$\begin{aligned} Y(0) &= a(\mu), & a(\mu) &= a_0 + a_1\mu + a_2\mu^2 \\ Y'(0) &= b(\mu), & b(\mu) &= b_0 + b_1\mu + b_2\mu^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Предполагая, что начальная численность популяции зависит от расстояния до фиксированной отправной точки, мы можем задать эту зависимость при помощи параметра μ . Квадратичный вид этой зависимости в (11) представляет собой простейший тип нелинейности, пригодный для рассмотрения. Особый демографический смысл это имеет, например, при анализе численности населения в центре города и пригородных поселениях, сгруппированных вокруг общего центра, где имеется структура, близкая к характеристикам к центральной симметрии.

Зависимость частного решения от начальных условий

Введём следующие вспомогательные обозначения:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1, \quad q = \frac{k}{k-1} \quad (12)$$

где λ_1, λ_2 – множители экспоненциальных показателей (5), k – правая часть уравнения горизонтальной асимптоты, ограничивающей функции (5). В таком случае частное решение уравнения (6), удовлетворяющее возмущённым начальным условиям (11) может быть представлено в следующем виде:

$$Y(t, \mu) = \frac{1}{\Delta\lambda} ((\lambda_2 Y_1(t) - \lambda_1 Y_2(t))a(\mu) + q(Y_2(t) - Y_1(t))b(\mu)) \quad (13)$$

Поведение частного решения при возмущении начальных условий

Поскольку $\lim_{t \rightarrow +\infty} Y(t, \mu) = ka(\mu)$, каждое из решений вида (13) при фиксированном значении параметра μ имеет горизонтальную асимптоту вида $y = ka(\mu)$. Согласно [6], в случае, если выполнена система неравенств

$$\begin{cases} \lambda_1 a(\mu) - qb(\mu) < 0 \\ \lambda_2 a(\mu) - qb(\mu) > 0 \\ \lambda_2 > \lambda_1 \end{cases} \quad (14)$$

функция $Y(t, \mu)$ монотонно возрастает по параметру t , если же

$$\begin{cases} \lambda_1 a(\mu) - qb(\mu) > 0 \\ \lambda_2 a(\mu) - qb(\mu) < 0 \\ \lambda_2 > \lambda_1 \end{cases} \quad (15)$$

то функция $Y(t, \mu)$ монотонно убывает по t .

Теперь зафиксируем значение $t = t_0$ и введём следующие обозначения:

$$\begin{aligned} Y_1^0 &= Y_1(t_0), & Y_2^0 &= Y_2(t_0), & Y^0(\mu) &= Y(t_0, \mu), \\ \Delta_1 &= (\lambda_2 Y_1^0 - \lambda_1 Y_2^0), & \Delta_2 &= q(Y_2^0 - Y_1^0) \end{aligned} \quad (16)$$

Тогда тождество (13) переписывается в виде:

$$Y^0(\mu) = \frac{1}{\Delta\lambda} (\Delta_1 a(\mu) + \Delta_2 b(\mu)) \quad (17)$$

Разлагая (17) в ряд по параметру μ , получим:

$$Y^0(\mu) = U_0 + U_1\mu + U_2\mu^2 \quad (18)$$

где

$$U_i = \frac{1}{\Delta\lambda} (\Delta_1 a_i + \Delta_2 b_i), \quad i = 1..3 \quad (19)$$

Если $U_2 = 0$, выражение (18) представляет собой линейную зависимость. Если $U_2 \neq 0$, поведение данной функции определяется свойствами многочлена второй степени: при $U_2 > 0$ функция $Y^0(\mu)$ убывает на промежутке $(-\infty, -\frac{U_1}{2U_2}]$, имеет минимум в точке $\mu_0 = -\frac{U_1}{2U_2}$ и возрастает на промежутке $[-\frac{U_1}{2U_2}, +\infty)$. При $U_2 < 0$ функция $Y^0(\mu)$ возрастает на промежутке $(-\infty, -\frac{U_1}{2U_2}]$, имеет максимум в точке $\mu_0 = -\frac{U_1}{2U_2}$ и убывает на промежутке $[-\frac{U_1}{2U_2}, +\infty)$.

Численное моделирование

Рассмотрим тестовый пример задачи со следующими значениями входящих в неё параметров: $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = 2$, $k = 10$, $a_0 = 1$, $b_0 = 1$, $a_1 = 1$, $b_1 = -1$, $a_2 = 1$, $b_2 = 1$, $t_0 = 1$. На рисунке 1 приводится графическая зависимость $Y(t, \mu)$ (13) при $t \in (0.5, 1.5)$, $\mu \in (0, 0.5)$.

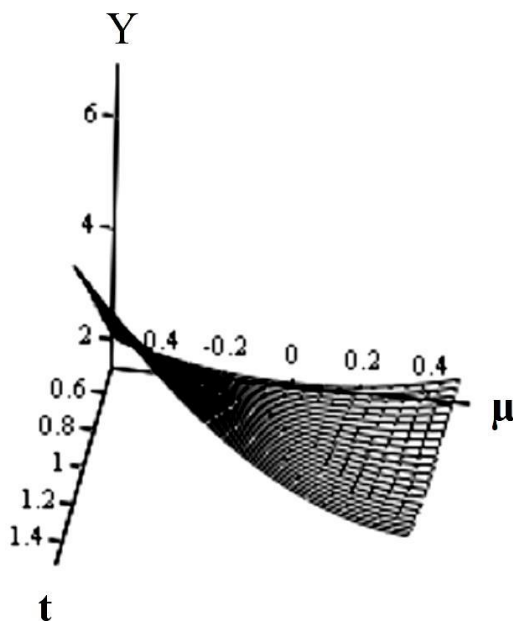


Рис. 1 – Графическая зависимость $Y(t, \mu)$ (13) при $t \in (0.5, 1.5)$, $\mu \in (0, 0.5)$

На рисунке 2 отображены графики решений ЛДУ (6) с начальными условиями (11) при $\mu = -0.2 \dots 0.2$ с шагом 0.1. Все данные решения представляют собой монотонно возрастающие функции со значениями уровней горизонтальных асимптот, приведенными в таблице 1.

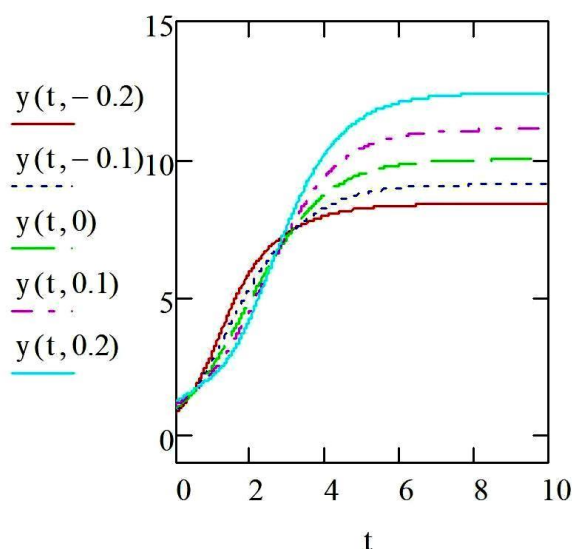
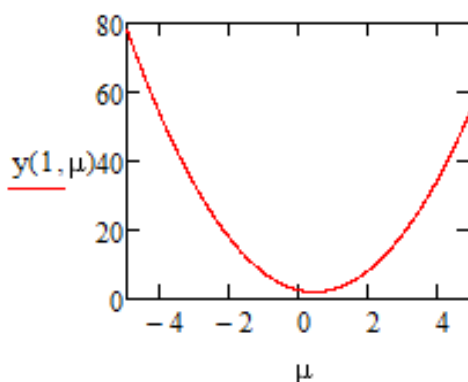


Рис. 2 – Графики решений ЛДУ (6) с начальными условиями (11) при $\mu = -0.2 \dots 0.2$ с шагом 0.1.

Таблица 1 – Значения уровней горизонтальных асимптот

μ	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2
$ka(\mu)$	8,4	9,1	10	11,1	12,4

Наконец, на рисунке 3 отображена зависимость $Y(t_0, \mu)$ при $t_0 = 1$. Мы видим, что она является квадратичной, как и было описано выше.

Рис. 3 – Зависимость $Y(t_0, \mu)$ при $t_0 = 1$

Заключение

Полученные результаты показывают, что частные решения уравнения (6) в зависимости от начальных условий могут включать себя функции как убывающего, так и возрастающего типа, ограниченные сверху горизонтальной асимптотой. В то же время зависимость частного решения от μ с фиксированным t имеет вид квадратичной функции. Явное выражение частного решения уравнения Ферхюльста через ФСР и начальные условия позволяет исследовать поведение данного решения при возмущениях начальных условий в любой требуемой точке.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мальтус Т. Опыт о законе народонаселения / Т. Мальтус, Кейнс, Ю. Ларин // Антология экономической классики. – М., 1993. – 134 с.
2. Verhulst P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement / P. F. Verhulst // Corresp. Math et Phys. – 1838. – №10. – P. 113–121.
3. Московкин В.М. Пьер-Франсуа Верхульст – забытый первооткрыватель закона логистического роста и один из основателей экономической динамики / В.М. Московкин, А.В. Журавка // Наука та наукознавство. – 2003. – № 3. – С. 75–84.
4. Михеев А.В. О динамических моделях типа Ферхюльста, описываемых линейными дифференциальными уравнениями второго порядка / А.В. Михеев // Теория. Практика. Инновации. – 2017. – № 9 (21). – С. 29–33.
5. Романко В. К. Курс дифференциальных уравнений и вариационного исчисления / В. К. Романко. – 2-е изд. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 344 с.
6. Михеев А.В. Исследование зависимости частных решений уравнения Ферхюльста второго порядка от начальных условий / А.В. Михеев // Теория. Практика. Инновации. – 2018. – № 8 (32). – С. 12–18.
7. Михеев А.В. О приближенном решении дифференциального уравнения Ферхюльста второго порядка / А.В. Михеев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 11-1 (89). – С. 17–20.
8. Кирьянов Д.В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0 / Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
9. Данилина Н.И. Вычислительная математика / Н.И. Данилина, Н.С. Дубровская, О.П. Кваша и др. – М.: Высшая школа, 1985. – 472 с.
10. Панюкова Т.А. Основы теории дифференциальных уравнений для экономистов / Т.А. Панюкова. – М.: Книжный дом «Либроком», 2011. – 256 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Malthus T. Opyt o zakone narodonaselennja [An Essay on the Principle of Population] / Malthus T., Keynes, Larin Yu. // Antologija ehkonomicheskoy klassiki [Anthology of economic classics]. – M., 1993 – 134 p. [in Russian]
2. Verhulst P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement / P. F. Verhulst // Corresp. Math et Phys. – 1838. – №10. – P. 113–121
3. Moskovkin V. M., Zhuravka A.V. P'er-Fransua Verkhul'st – zabytyj pervootkryvatel' zakona logisticheskogo rosta i odin iz osnovatelej ehkonomicheskoy dinamiki [Pierre-Francois Verhulst, the forgotten discoverer of the law of logistic growth and one of the founders of economic dynamics] / V. M. Moskovkin, A. V. Zhuravka // Nauka ta naukoznastvo. – 2003. – No. 3. – pp. 75–84 [in Russian]
4. Mikheev A.V. O dinamicheskikh modeljakh tipa Ferkhjul'sta, opisyyaemykh linejnyimi differencial'nymi uravnenijami vtorogo porjadka [On dynamic models of the Ferhulst type described by linear differential equations of the second order] / A. V. Mikheev // Teorija. Praktika. Innovacii [Theory. Practice. Innovations]. – 2017. – № 9 (21). – pp. 29–33 [in Russian]

5. Romanko V. K. Kurs differencial'nykh uravnenij i variacionnogo ischislenija [Course of differential equations and calculus of variations] / V. K. romanko – 2nd ed. - Moscow: Laboratorija Bazovykh Znanij, 2001. - 344 p. [in Russian]
6. Mikheev A.V. Issledovanie zavisimosti chastnykh reshenij uravnenija Ferkhjul'sta vtorogo porjadka ot nachal'nykh uslovij [Investigation of the dependence of partial solutions of the second-order Ferhulst equation on the initial conditions] / A. V. Mikheev // Teorija. Praktika. Innovacii [Theory. Practice. Innovations] – 2018. – № 8 (32). – pp. 12-18 [in Russian]
7. Mikheev A.V. O priblizhenom reshenii differencial'nogo uravnenija Ferkhjul'sta vtorogo porjadka [On the approximate solution of the second-order Ferhulst differential equation] / A. V. Mikheev // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2019. – № 11-1 (89). – pp. 17-20 [in Russian]
8. Kiryanov D. V. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0 / D. V. Kiryanov. - St. Petersburg: BKhV-Petersburg, 2012 – 432 p. [in Russian]
9. Danilina N. I., Dubrovskaya N. S., Kvasha O. P., Smirnov G. L. Vychislitel'naja matematika [Computational mathematics] / N. I. Danilina, N. S. Dubrovskaya, O. P. Kvasha. - M.: Vysshaya shkola, 1985. - 472 p. [in Russian]
10. Panyukova T. A. Osnovy teorii differencial'nykh uravnenij dlja ehkonomistov [Fundamentals of the theory of differential equations for economists] / T. A. Panyukova. - M.: Knzhny dom "Librokom", 2011 – 256 p. [in Russian]

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.002>СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Научная статья

Гизатуллин Ф.А.^{1,*}, Заико А.И.², Петунин В.И.³, Габидуллина З.Г.⁴¹ ORCID: 0000-0003-2282-7546;⁴ ORCID: 0000-0001-9461-3737;^{1, 2, 3, 4} Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

* Корреспондирующий автор (elaint[at]yandex.ru)

Аннотация

Анализируются разрядные процессы в разработанном схмотехническом решении двухканальной системы зажигания с синхронизацией разрядов в свечах и компенсацией обрыва цепи одной из свечей в аварийном режиме. Анализируются процессы в разработанных схемах систем зажигания на основании предложенного метода повышения эффективности с использованием резервных цепей соединения накопительных конденсаторов, анализируются разрядные процессы в разработанной системе зажигания с сочетанием в свече искровых разрядов разной длительности.

Экспериментально доказывается, что разработанная система зажигания с синхронизацией разрядов в свечах обладает повышенной эффективностью по сравнению с серийной двухканальной системой зажигания.

Ключевые слова: системы зажигания, искровой разряд, пусковой воспламенитель, воспламеняющая способность, разрядные процессы.

METHODS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF TWO-STROKE IGNITION SYSTEMS
OF GAS TURBINE ENGINES

Research article

Gizatullin F.A.^{1,*}, Zaiko A.I.², Petunin V.I.³, Gabidullina Z.G.⁴¹ ORCID: 0000-0003-2282-7546;⁴ ORCID: 0000-0001-9461-3737;^{1, 2, 3, 4} Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

* Corresponding author (elaint[at]yandex.ru)

Abstract

The current article analyzes the discharge processes in the developed circuit design of a two-stroke ignition system with synchronization of discharges in plugs and compensation of a circuit break of one of the plugs in emergency mode. The study analyzes the processes in the developed schemes of ignition systems on the basis of the proposed method of increasing efficiency using backup circuits for connecting storage capacitors; it also examines the discharge processes in the developed ignition system with a combination of spark discharges of different durations in the spark plug.

The authors experimentally prove that the developed ignition system with synchronization of discharges in spark plugs has increased efficiency compared to the serial two-channel ignition system.

Keywords: ignition systems, spark discharge, starting igniter, igniting ability, discharge processes.

Системы зажигания для маршевых газотурбинных двигателей самолетов выполняются, как правило, двухканальными по схеме общего резервирования с одним резервным каналом, находящимся в нагруженном состоянии. Каждый канал включает в себя преобразователь, цепь заряда накопительного конденсатора и разрядную цепь со свечой зажигания. Оба канала работают независимо друг от друга, электрическая связь между ними отсутствует, каналы связаны только по цепи питания. Обрыв цепи одной из свечей не влияет на энергетические параметры второй свечи, т.е. обрыв цепи одной свечи никак не компенсируется [1], [2].

При косвенном способе розжига топливной смеси в камере сгорания с помощью пусковых воспламенителей свечи в составе двухканальных устройств зажигания могут устанавливаться в одном пусковом воспламенителе, причем торцы свечей, в которых образуются искровые разряды, располагаются близко друг к другу.

В серийных двухканальных устройствах зажигания разряды в свечах не синхронизируются во времени и следуют с определенной частотой независимо друг от друга. Очевидно, что синхронизация искровых разрядов в свечах во времени при расположении торцов свечей близко друг к другу позволит получить практически удвоенный по объему эквивалентный искровой разряд. При этом суммарная энергия разрядов в свечах должна привести к увеличению воспламеняющей способности устройства зажигания. Этот положительный эффект, получаемый при синхронизации искровых разрядов, изложен в патенте США [3], где описана камера сгорания газотурбинного двигателя, имеющая две близко расположенные свечи, которые по отдельности не могут обеспечить запуск двигателя на заданной высоте, и устройство для одновременной работы двух свечей, создающих зоны горения, которые объединяются и делают возможным запуск двигателя на больших высотах.

На рис. 1 представлена принципиальная схема серийной двухканальной системы зажигания, каждый канал которой содержит преобразователь – индукционную катушку с электромагнитным прерывателем и разрядную цепь с коммутирующим искровым разрядником и полупроводниковой свечой. От преобразователя через выпрямитель заряжается накопительный конденсатор. Система зажигания в каждом канале содержит активизатор – импульсный трансформатор с дополнительным конденсатором. Как видно из рис. 1, зарядно-разрядные цепи электрически не

связаны, разряды в свечах не синхронизированы, обрыв цепи одной из свечей не вызывает изменений энергии и мощности разрядов в исправной свече [1], [2].

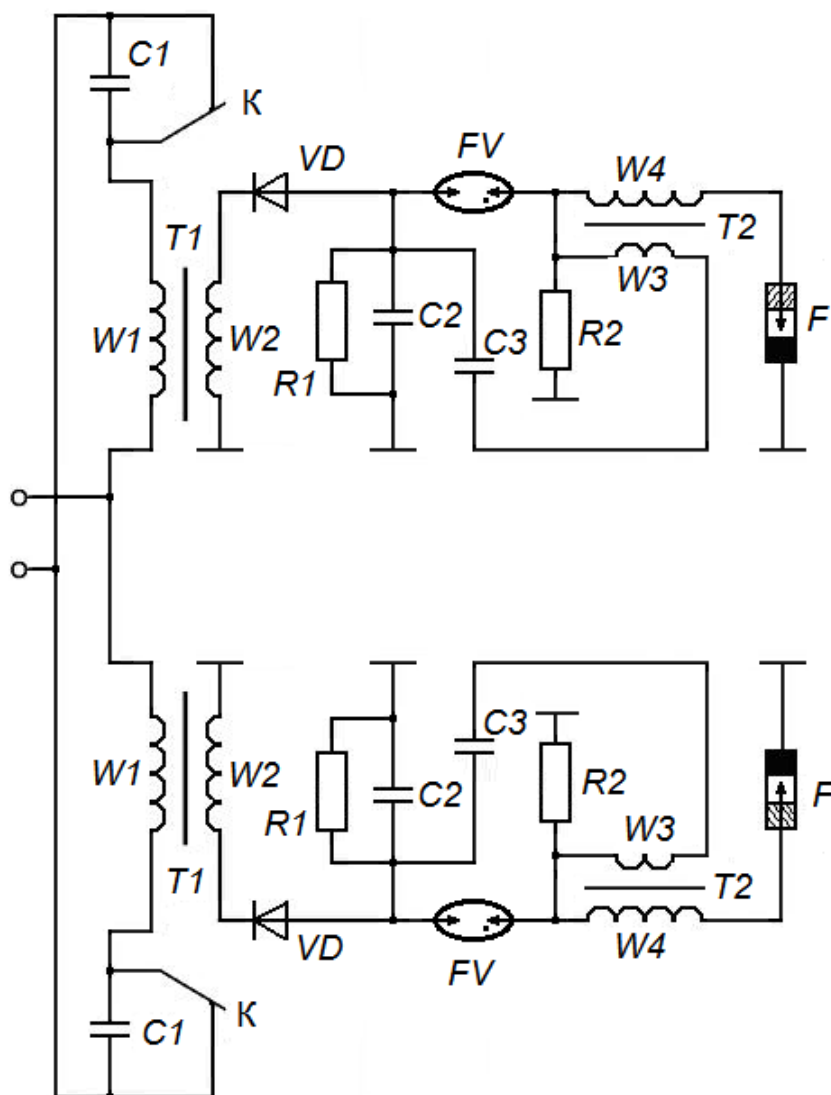


Рис. 1 – Принципиальная схема серийной двухканальной системы зажигания

На основе изложенного представляет практический интерес совершенствование серийной двухканальной емкостной системы зажигания путем синхронизации искровых разрядов в двух свечах и экспериментальное доказательство положительного эффекта от синхронизации разрядов с использованием специальной установки для исследования воспламеняющей способности систем зажигания.

В статье решается задача анализа разработанных оригинальных схмотехнических решений для систем зажигания, позволяющих, в том числе, реализовать два способа повышения эффективности и надежности устройств зажигания: синхронизацию искровых разрядов в свечах двухканальных устройств зажигания и способ, состоящий в компенсации обрыва цепи одной из свечей путем увеличения энергии и мощности искровых разрядов в исправной свече. Экспериментально доказывается, что синхронизация искровых разрядов в двух свечах увеличивает воспламеняющую способность двухканальной системы зажигания.

Одна из возможных разработанных схем двухканальных емкостных систем зажигания, в которой реализованы оба названных выше способа повышения эффективности, показана на рис. 2 [4]. В этом решении по сравнению с рис. 1 изменена схема подключения активизаторов с использованием перекрестных связей и вместо двух дополнительных конденсаторов применен один конденсатор. Логика функционирования схемы состоит в следующем.

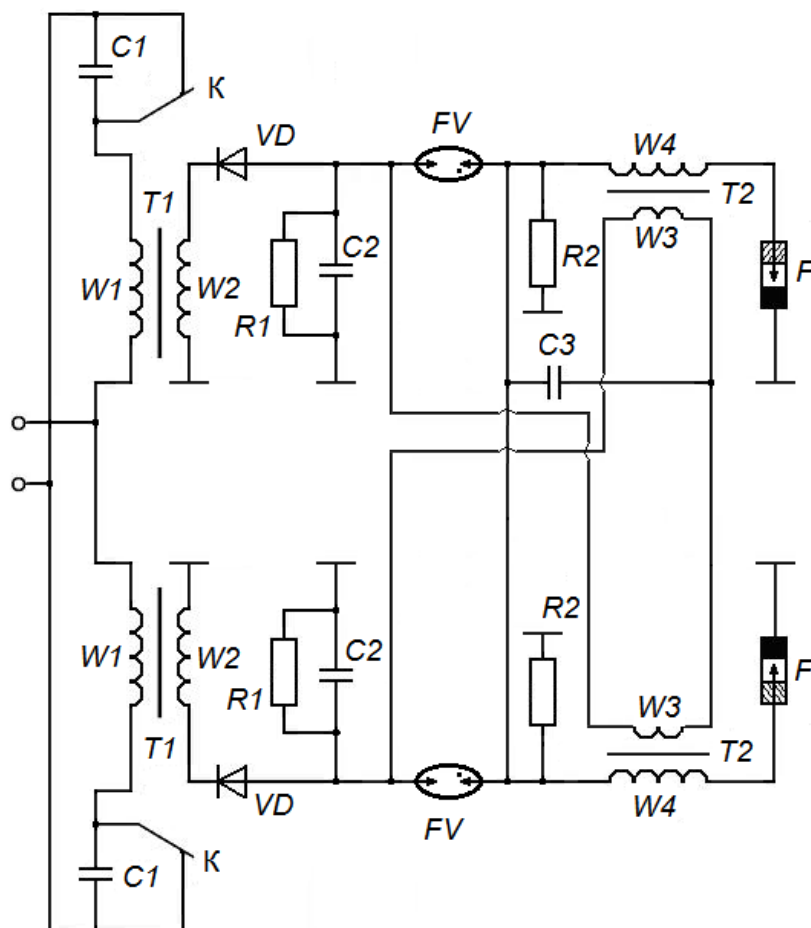


Рис. 2 – Принципиальная схема разработанной двухканальной системы зажигания

От преобразователей – индукционных катушек с электромагнитными прерывателями через выпрямительные диоды VD заряжаются накопительные конденсаторы C_2 . Одновременно заряжаются конденсаторы C_3 в цепях активизаторов через первичные обмотки W_3 импульсных трансформаторов T_2 и резисторы R_2 . При достижении на одном из накопительных конденсаторов C_2 пробивного напряжения соответствующего разрядника FV последний пробивается, и конденсатор C_2 начинает разряжаться на свечу F . Через пробитый разрядник конденсатор C_3 разряжается в цепи первичной обмотки импульсного трансформатора противоположного разрядного контура. В результате на вторичной обмотке этого трансформатора возникает высоковольтный импульс, под действием которого принудительно пробивается второй разрядник FV . После этого второй накопительный конденсатор разряжается на вторую свечу F . Таким образом, разряды в свечах синхронизируются.

Особенностью схемы на рис. 2 является то, что в аварийном режиме при обрыве в цепи одной из свечей во второй исправной свече выделяется повышенная энергия. На исправную свечу разряжаются оба накопительных конденсатора, так как общие точки соединения накопительных конденсаторов и разрядников соединены через первичные обмотки импульсных трансформаторов, при этом длительность разрядов конденсаторов будет разной, что в свою очередь является положительным моментом; известно, что сочетание в свече разрядов разной длительности повышает воспламеняющую способность свечи [2].

В итоге, при обрыве в цепи одной из свечей в исправной свече выделяется энергия обоих конденсаторов, то есть практически удвоенная энергия, что компенсирует отказ одной свечи и повышает надежность работы системы зажигания.

Сравнение схемы серийной двухканальной емкостной системы зажигания, показанной на рис. 1, со схемой на рис. 2 позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, в предложенной схеме обеспечивается синхронизация разрядов в обеих свечах, что должно увеличить воспламеняющую способность системы зажигания. Во-вторых, повышается надежность работы, т.к. при обрыве в цепи одной из свечей в исправной свече выделяется удвоенная энергия, причем энергия заряда конденсаторов остается неизменной, она зависит от емкости накопительного конденсатора и напряжения срабатывания разрядника, которые остаются неизменными. В-третьих, при обрыве в цепи одной из свечей в исправной свече сочетается два вида разряда – основной разряд и разряд накопительного конденсатора второго канала, обладающий большей длительностью за счет включения в цепь разряда конденсатора второго канала последовательно соединенных обмоток импульсных трансформаторов. Как правило, разрядные цепи серийных емкостных систем зажигания обладают индуктивностью в 20-140 мкГн в зависимости от конкретного исполнения разрядной цепи. При последовательном включении в цепь разряда двух первичных обмоток импульсных трансформаторов индуктивность может быть увеличена на 15-20% в зависимости от параметров импульсных трансформаторов. Увеличение индуктивности разрядной цепи, как показано в работе [3], приводит к возрастанию энергии искровых разрядов в свече, а, следовательно, и к увеличению воспламеняющей способности.

Для доказательства положительного эффекта от синхронизации работы двух свечей проведены экспериментальные исследования с использованием установки, предназначенной для технологической проверки серийных воспламенителей камер сгорания газотурбинных двигателей. Блок-схема установки приведена на рис. 3.

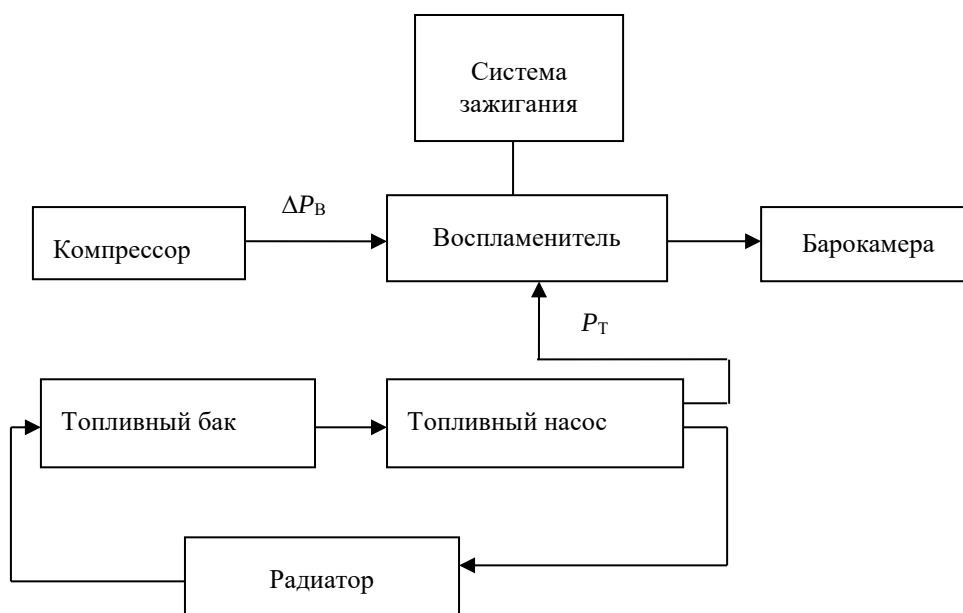


Рис. 3 – Блок-схема установки

Исследовались пусковые характеристики воспламенителя в координатах P_T – давление пускового топлива на входе в воспламенитель – ΔP_B – давление воздуха на входе в воспламенитель. Давление воздуха на выходе воспламенителя считалось равным атмосферному.

В серийный воспламенитель устанавливались две полупроводниковые свечи СП-43. Давление пускового топлива измерялось манометрами типа I кл. 06 ГОСТ 8625-69. Давление воздуха на входе в воспламенитель определялось по показаниям ртутного пьезометра с точностью до 1 мм Нг. Давление в магистрали подачи топлива создавалось топливным насосом; при работе насоса без подачи топлива в воспламенитель осуществлялась циркуляция топлива в цепи: топливный бак – топливный насос – радиатор – топливный бак.

Регистрация пусковых характеристик воспламенителя проводилась следующим образом. Для каждого заданного значения давления воздуха на входе в воспламенитель ΔP_B определялись нижняя и верхняя границы стабильного воспламенения при изменении давления топлива от минимальных до максимальных значений. Воспламенение воздушной смеси считалось нормальным, если время задержки воспламенения не превышало 3 секунд после включения подачи топлива с последующим ростом температуры факела пламени на выходе воспламенителя.

Для каждого фиксированного значения давления воздуха на входе в воспламенитель нижняя и верхняя границы пусковой характеристики воспламенителя по давлению топлива фиксировались не менее трех раз. В качестве пускового топлива использовался керосин ТС-1.

По приведенной выше методике оценивались пусковые характеристики с помощью серийной системы зажигания, показанной на рис. 1, и разработанной системы зажигания, показанной на рис. 2, т.е. при отсутствии и наличии синхронизации.

Экспериментально полученные пусковые характеристики воспламенителя показаны на рис. 4. Как следует из рис. 4, при синхронизации разрядов площадь пусковой характеристики в рабочей зоне изменения давления топлива увеличивается на 10-15%.

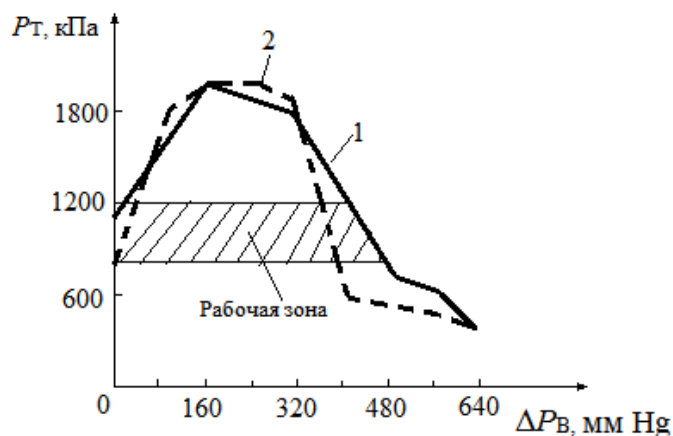


Рис. 4 – Пусковые характеристики воспламенителя:

- 1 – пусковая характеристика при наличии синхронизации разрядов в свечах;
- 2 – пусковая характеристика для серийной двухканальной системы зажигания

Анализируя разрядные процессы в разработанной схеме на рис. 3 в аварийном режиме, можно сформулировать общий метод повышения надежности двухканальных устройств зажигания в случаях, когда торцы двух свечей не расположены близко друг к другу и синхронизация разрядов в свечах не имеет смысла. В этом случае для компенсации отказа одной из свечей при обрыве в ее цепи необходимо предусмотреть резервные цепи для разряда обоих накопительных конденсаторов через индуктивный элемент или дополнительный коммутирующий разрядник. Этот способ повышения эффективности двухканальных устройств зажигания реализован в разработанных схемотехнических решениях, защищенных патентами [5], [6], [7].

В случае использования индуктивного элемента – катушки индуктивности, в нормальном режиме работы обеих свечей уравнивающий ток между накопительными конденсаторами не будет существенным образом менять динамику разрядных процессов в свечах; в аварийном режиме работы при обрыве в цепи одной из свечей оба накопительных конденсатора будут разряжаться на исправную свечу, образуя суммарно разряды разной длительности. В случае использования дополнительного коммутирующего разрядника, соединяющего общие точки соединения накопительных конденсаторов и основных разрядников, конденсатор в цепи отказавшей свечи будет заряжаться до суммы пробивных напряжений основного и дополнительного разрядников. При этом накопленная в конденсаторе энергия увеличится, что явится основанием для более эффективной компенсации обрыва цепи одной из свечей.

Следует отметить, что синхронизация разрядов двух накопительных конденсаторов имеет смысл не только в двухканальных устройствах зажигания; синхронизация может дать положительный эффект при наличии двух конденсаторов, работающих на одну свечу. На основании этого принципа разработано схемотехническое решение устройства зажигания, подтвержденное патентом [8]. Схема этой системы зажигания показана на рис 5. Логика процессов такова. От преобразователя заряжаются оба конденсатора C_1 и C_2 , причем разность потенциалов между электродами разрядника FV_2 будет равна нулю до пробоя разрядника FV_1 . После пробоя разрядника FV_1 напряжение на конденсаторе C_1 будет меняться по закону, показанному на рис. 6 (кривая 1) и соответствующем известной формуле [9]:

$$U_C(t) = U_0 \frac{\omega_0}{\omega} e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega t - \phi),$$

где $\phi = \arctg\left(-\frac{\omega}{\delta}\right)$;

U_0 – напряжение пробоя разрядника;

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$, $\delta = \frac{R}{2L}$;

L – индуктивность разрядной цепи;

R – эквивалентное активное сопротивление разрядной цепи.

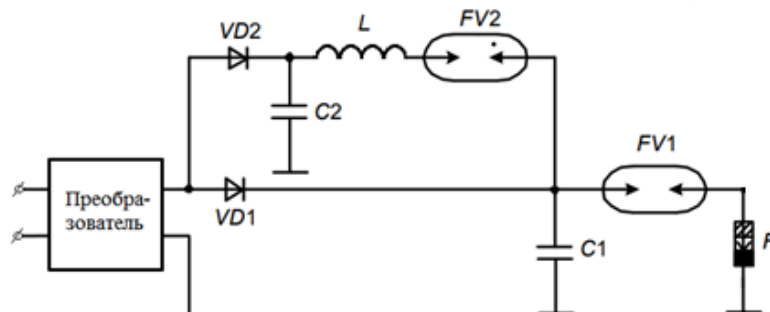


Рис. 5 – Емкостная система зажигания

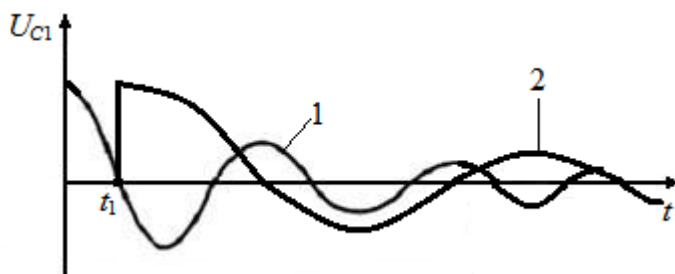


Рис. 6 – Напряжение на конденсаторе C_1

В момент времени t_1 , когда напряжение на конденсаторе C_1 в течение первой четверти периода упадет до нуля, появится разность потенциалов между электродами разрядника FV_2 . Он пробьется, и конденсатор C_2 будет разряжаться на свечу, обеспечивая более длительный разряд на свечу за счет наличия индуктивности L (кривая 2).

Таким образом, в свече F будут образовываться разряды разной длительности, что, как было отмечено выше, обеспечит повышенную воспламеняющую способность свечи F .

Работоспособность всех разработанных схем систем зажигания подтверждена экспериментально.

Выводы

Проведен анализ эффективности разработанного схемотехнического решения для двухканальной емкостной системы зажигания авиационных двигателей, экспериментально с использованием специальной установки для

исследования пусковых характеристик воспламенителей камер сгорания доказано, что синхронизация искровых разрядов в двух свечах позволяет увеличить на 10-15% площадь пусковой характеристики воспламенителя по сравнению с серийной двухканальной емкостной системой зажигания.

Показано, что в аварийном режиме при отказе одной из свечей в исправной свече выделяется удвоенная энергия. Сформулирован общий метод повышения надежности двухканальных систем зажигания, состоящий в применении резервных цепей соединения накопительных конденсаторов, приведены примеры использования данного метода в новых схмотехнических решениях. На основе метода синхронизации разрядов в свечах выполнен анализ разрядных процессов в новой схеме системы зажигания повышенной эффективности с сочетанием в свече разрядов разной длительности.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ноздрин Б.М. Низковольтный агрегат системы зажигания емкостного разряда СКНА-22-2А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Ноздрин Б.М., Поляк Х.А. М.: Машиностроение. 1968. – 47 с.
2. Котенко П.С. Перспективы совершенствования электрооборудования летательных аппаратов, общие вопросы эксплуатации и ремонта: учебное пособие / Котенко П.С., Гизатуллин Ф.А. Уфа: РИК УГАТУ, 2018. – 295 с.
3. US Patent 3,264,825, IC F02C 7/26 (20060101); F02C 7/266 (20060101). Gas turbine jet propulsion engine igniter / G.A. Halls Etal. 09.08.1966.
4. Пат. 59160 Российская Федерация, МПК F 02 P 3/06. Система зажигания / Ф.А. Гизатуллин, А.В. Лобанов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - № 2006126383/22; заявл. 20.07.2006; опубл. 10.12.2006, Бюл. № 34.
5. Пат. 75700 Российская Федерация, МПК F 02 P 3/06. Система зажигания / Ф.А. Гизатуллин, Д.Р. Газизов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - № 2008109481/22; заявл. 12.03.2008; опубл. 20.08.2008, Бюл. № 23.
6. Пат. 129160 Российская Федерация, МПК F 02 P 3/06. Емкостная система зажигания с одним преобразователем на две свечи / Ф.А. Гизатуллин, Р.М. Салихов, Т.М. Ищейкина, Е.Ю. Покатаева, А.Ю. Барабанов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - № 2012157588/07; заявл. 26.12.2012; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.
7. Пат. 132498 Российская Федерация, МПК F 02 P 3/06. Емкостная система зажигания с одним преобразователем на две свечи / Ф.А. Гизатуллин, Р.М. Салихов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - № 2013105875/07; заявл. 12.02.2013; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.
8. Пат. 64295 Российская Федерация, МПК F 02 P 3/06. Емкостная система зажигания / Ф.А. Гизатуллин, М.Н. Андреев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. - № 2006145655/22; заявл. 21.12.2006; опубл. 27.06.2007, Бюл. № 18.
9. Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники / Нейман Л.Р., Демирчян К.С. – М. – Л.: Энергия, 1981, т.1 – 522 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nosdrin B.M. Nizkovol'tnyy agregat sistemy zazhiganiya emkostnogo razryada SKNA-22-2A. Tekhnicheskoe opisanie i instrukciya po ekspluatatsii [Low-voltage ignition system LVCA-22-2A. Technical description and operating instructions] / Nozdrin B.M., Polak H.A. M.: Mechanical engineering. 1968. - 47 p. [in Russian].
2. Kotenko P.S. Perspektivy sovershenstvovaniya elektrooborudovaniya letatel'nykh apparatov, obshchiye voprosy ekspluatatsii i remonta: uchebnoe posobie [Prospects for improvement of aircraft electrical equipment, general maintenance and repair issues: manual] / Kotenko P.S., Gizatullin F.A. Ufa: RIC USATU, 2018 – 295 p. [in Russian].
3. US Patent 3,264,825, IC F02C 7/26 (20060101); F02C 7/266 (20060101). Gas turbine jet propulsion engine igniter / G.A. Halls Etal. 09.08.1966.
4. Pat. 59160 Russian Federation, МПК F 02 P 3/06. Sistema zazhiganiya [Ignition system] / F.A. Gizatullin, A.V. Lobanov; the applicant and the patentee Ufa State Aviation Technical University - № 2006126383/22; appl. 20.07.2006; publ. 10.12.2006, Bul. Number 34.
5. Pat. 75700 Russian Federation, МПК F 02 P 3/06. Sistema zazhiganiya [Ignition system] / F.A. Gizatullin, D.R. Gazizov; the applicant and the patentee Ufa State Aviation Technical University. - № 2008109481/22; appl. 12.03.2008; publ. 20.08.2008, Bul. Number 23.
6. Pat. 129160 Russian Federation, МПК F 02 P 3/06. Yemkostnaya sistema zazhiganiya s odnim preobrazovatelem na dve svechi [Capacitive ignition system with one converter for two candles] / F.A. Gizatullin, R.M. Salikhov, T.M. Ishcheykina, Ye.Yu. Pokatayeva, A.Yu. Barabanov; the applicant and the patentee Ufa State Aviation Technical University. - № 2012157588/07; appl. 26.12.2012; publ. 20.06.2013, Bul. Number 17.
7. Pat. 132498 Russian Federation, МПК F 02 P 3/06. Yemkostnaya sistema zazhiganiya s odnim preobrazovatelem na dve svechi [Capacitive ignition system with one converter for two candles] / F.A. Gizatullin, R.M. Salikhov; the applicant and the patentee Ufa State Aviation Technical University. - № 2013105875/07; appl. 12.02.2013; publ. 20.09.2013, Bul. Number 26.
8. Pat. 64295 Russian Federation, МПК F 02 P 3/06. Yemkostnaya sistema zazhiganiya [Capacitive ignition system] / F.A. Gizatullin, M.N. Andreyev; the applicant and the patentee Ufa State Aviation Technical University. - № 2006145655/22; appl. 21.12.2006; publ. 27.06.2007, Bul. Number 18.
9. Neumann L.R. Teoreticheskiye osnovy elektrotekhniki [Theoretical Fundamentals of Electrical Engineering] / Neumann L.R., Demirchyan K.S. – М. – Л.: Energiya, 1981, v.1 – 522 p. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.003>**ПРОЦЕССЫ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ПОДЛОЖКОЙ**

Научная статья

Малий Д.В.^{1*}, Медведев П.Н.²¹ ORCID: 0000-0002-9864-9208;² ORCID: 0000-0002-7580-069X;^{1,2} Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Тула, Россия

* Корреспондирующий автор (maliydmity[at]yandex.ru)

Аннотация

Цель исследования – определение адгезионной прочности сцепления исследуемых покрытий с подложкой для повышения точности расчетов. Задачи: расширить функциональные возможности методов определения адгезионной прочности покрытий; выявить зависимости между физико-механическими и эксплуатационными свойствами исследуемых порошковых покрытий и построить их модели с использованием результатов испытаний; оптимизировать технологические режимы нанесения покрытий. Методы: плазменное напыление с последующими дополнительными обработками; акустическая эмиссия. Полученные результаты исследования позволяют утверждать о том, что адгезионная прочность исследуемых покрытий в среднем составляет 10-40 МПа. Наибольшую прочность сцепления в напыленном состоянии имеют покрытия ПГСП-2, ПГСП-3, ПГСП-4. При исследовании влияния пористости на адгезионную прочность покрытий было установлено, что наибольшую прочность имеет покрытие на основе никеля – 17 МПа при наименьшей пористости.

Ключевые слова: адгезионная прочность; сцепление покрытий с подложкой; процессы фрикционного взаимодействия.

**PROCESSES OF FRICTIONAL INTERACTION AND DETERMINATION
OF THE ADHESIVE STRENGTH OF THE ADHESION OF COATINGS TO THE SUBSTRATE**

Research article

Maliy D. V.^{1*}, Medvedev P. N.²¹ ORCID: 0000-0002-9864-9208;² ORCID: 0000-0002-7580-069X;^{1,2} Tula State Pedagogical University, Tula, Russia

* Corresponding author (maliydmity[at]yandex.ru)

Abstract

The purpose of the study is to determine the adhesive strength of the coatings under study to the substrate to improve the accuracy of calculations. The objectives of the research include expanding the functionality of methods for determining the adhesive strength of coatings; identifying the dependencies between the physical and mechanical and operational properties of the powder coatings under study and building their models using test results; optimizing the technological modes of coating application. Methods: plasma sputtering with subsequent additional treatments; acoustic emission. The obtained results of the study allow the authors to assert that the adhesive strength of the coatings under study amounts to 10-40 MPa on average. The coatings PGSR-2, PGSR-3, and PGSR-4 have the highest adhesion strength in the sprayed state. When studying the effect of porosity on the adhesive strength of coatings, it was found that the nickel-based coating has the highest strength-17 MPa with the lowest porosity.

Keywords: adhesive strength; adhesion of coatings to the substrate; processes of frictional interaction.

В настоящее время наблюдается потребность в повышении конструктивной прочности сталей и сплавов. Изделия с нанесенными защитными покрытиями имеют широкую номенклатуру и область применения, которая постоянно расширяется по мере возникновения новых практических задач [1]. В различных отраслях народного хозяйства широко применяются следующие покрытия: коррозионные, износостойкие [2, С. 30], теплозащитные, электроизоляционные, антифрикционные [3, С. 11] и др. В свою очередь, качество покрытий определяется их механическими свойствами, для исследования (контроля) которых применяют различные схемы, способы и установки [4].

Однако, до сих пор полностью не разработаны многофункциональные конструкции, приспособления и образцы для испытания покрытий в различных условиях и средах. В связи с этим, возникает потребность в разработке новых патентнозащищенных многофункциональных конструкций (с цилиндрическими поверхностями и защитными экранами) для комплексного исследования покрытий. Основным результатом данных конструкций является уменьшение трудоемкости, повышение точности и достоверности определения когезионной, адгезионной и длительной прочности порошковых покрытий [5] в инертных и агрессивных средах, получаемые на одной и той же конструкции устройства с возможностью многократного его использования.

Большинство технологических процессов предполагает изменение объема материала, вследствие этого необходимо учитывать необратимость данного явления при обработке давлением и резанием пористых металлов, при уплотнении порошковых материалов в процессе прессования.

Теоретическую базу исследования составляют формулы и варианты расчета распределения давлений и плотностей в брикетах различного поперечного сечения с уплотнением порошковых материалов прессованием и применением теории пластичности дилатирующих сред [6, С. 268].

Разработанный сотрудниками кафедры технологии и сервиса ФГБОУ ВО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого» программный комплекс [7] предназначен для моделирования и оптимизации процессов фрикционного взаимодействия с

определением адгезионной прочности сцепления покрытий с подложкой и включает следующие технические характеристики: модули синтеза оптимальных планов эксперимента с различными критериями оптимальности; модуль построения моделей сопротивления деформации как функции нескольких переменных, зависящих от варьируемых факторов (температура, скорость нагружения, схемы напряженного состояния) различных порядков; модули разработки моделей коэффициента скоростного упрочнения как частных производных от сопротивления деформации по скорости деформации; модуль построения моделей эффективной энергии активации процессов упругого и пластического деформирования покрытий и их фрикционного взаимодействия с учетом дисперсности фазовых и структурных составляющих и систем легирования материалов подложки; модуль комплексного регрессионного анализа параметров названных моделей и проверки статистических гипотез их адекватности, значимости параметров моделей, однородности дисперсий и исключения резко выделяющихся опытных данных.

Разработанный образец для определения адгезионной прочности покрытий (рис. 1, 2) состоит из двух цилиндров, соединение которых выполнено в виде конического сопряжения, торец одного цилиндра выполнен с конической выемкой, а другого с коническим выступом связывающего покрытия, причем внешняя поверхность цилиндров выполнена ступенчатой с различными диаметрами, цилиндры с большими диаметрами сопряжены коническими торцевыми поверхностями под углом 75° , на внешние поверхности цилиндров с большими диаметрами дополнительно установлены защитные экраны, закрепленные резьбовым соединением на участках цилиндров меньшего диаметра и выполнены в виде охватывающего кольца, ограничивающего зону нанесения связывающего покрытия, которое выполнено из самофлюсующихся материалов, толщиной слоя равной толщине стенок защитных экранов [8].

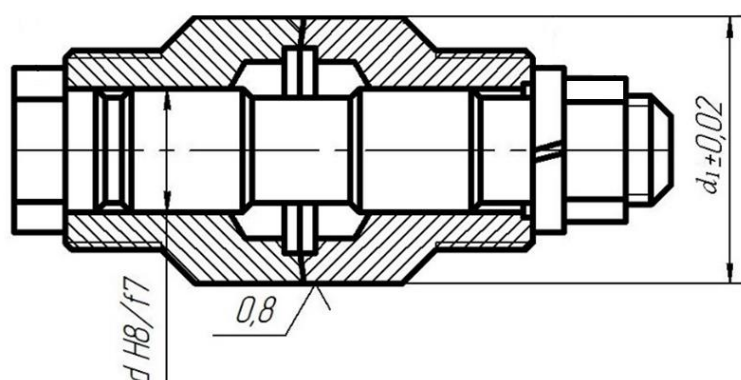


Рис. 1 – Продольный разрез образца для определения адгезионной прочности покрытий

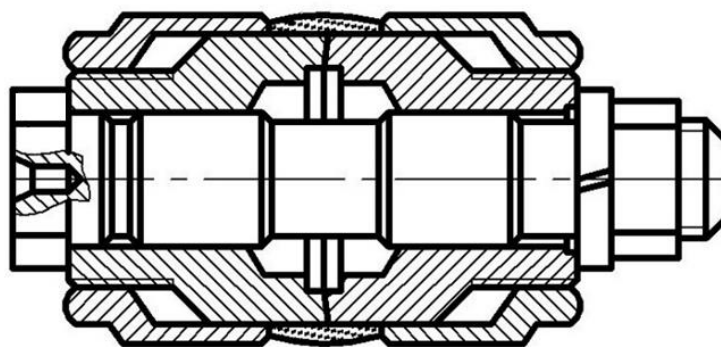


Рис. 2 – Продольный разрез образца с нанесенным связывающим покрытием и последующим его шлифованием

Разработанная конструкция образца (рис. 1, 2) позволяет расширить его функциональные возможности для определения прочности сцепления соединения и исследования его механических свойств и относится к образцам для оценки адгезионной прочности газотермических покрытий толщиной от 300 мкм до 3 мм, включая самофлюсующиеся покрытия, наносимые методом плазменного напыления с последующими дополнительными обработками [9, С. 148].

Были проведены испытания на адгезионную прочность. Разработанные образцы подвергаются воздействию вертикальной растягивающей нагрузки, под действием которой, происходит отрыв торцевой поверхности образца от покрытия или разрушение самого покрытия. Испытания проводили на разрывной машине Р-5 при скорости движения захвата 2 мм/мин. Напряженное состояние создается в процессе эксперимента за счет одноосного напряжения образца при постоянной нагрузке на рычажной установке. Фиксируемое усилие отрыва, отнесенное к площади торцевой поверхности образца, и будет являться адгезионной прочностью. Кинетику процесса разрушения образцов с покрытиями исследовали с помощью акустической эмиссии. Интенсивность и другие параметры процесса дефектообразования исследовались с помощью метода акустической эмиссии (АЭ).

Для испытания были выбраны следующие покрытия: Ni, ПН60Ю40, ПН40Ю60, Fe-Al, ПГСП-2, ПГСП-3, ПГСП-4. Химический состав исследуемых покрытий представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых покрытий

№	Марка покрытия (порошка)	Содержание элементов, %							
		Fe	Cr	Ni	Al	B	Si	C	O
1	ПН60Ю40			60	40				
2	ПН40Ю60			40	60				
3	ПГСР-2	0,26	15	79,3		2,89	2,93	0,5	0,01
4	ПГСР-3	3,65	14	73,9		3,23	4,42	0,69	0,029
5	ПГСР-4	< 0,5	17	74,3		3,1/4,0	3,8-4,5	0,8-1,2	

Покрытия напылялись с использованием универсальной плазменной установки УПУ-3 с горелкой ПП-25 (плазмообразующий газ: смесь аргона и азота). Расход составил: плазмообразующего газа – 38-40 л/мин.; транспортного газа – 6-8 л/мин.; порошка – 1-2 кг/час; дистанция напыления – 90-100 мм; напряжение – 45-48 В; сила тока – 325-350 А. Покрываемая поверхность в процессе напыления нагревалась до невысоких температур (< 200 °С), для сохранения особенности структуры и свойств материала.

Испытание образцов показало (таблица 2), что среднее значение прочности сцепления покрытий: для никеля (отожженного) – 17 МПа, ПН60Ю40 – 32 МПа, ПН40Ю60 – 9 МПа, на основе железо-алюминия – 6 МПа, ПГСР-2 – 28 МПа, ПГСР-3 – 36 МПа, ПГСР-4 – 34 МПа.

Таблица 2 – Адгезионная прочность исследуемых покрытий

№	Толщина покрытия	Адгезионная прочность, МПа						
		Ni	ПН60Ю40	ПН40Ю60	Fe-Al	ПГСР-2	ПГСР-3	ПГСР-4
1	0,3	17,5	28,6	5,7	4,4	15,5	28,3	21,4
2	0,3	15,7	34,5	6,8	4,7	11,4	34,6	27,0
3	0,3	19,4	29,7	9,4	9,1	21,0	38,5	28,6
4	0,6	14,5	31,2	10,4	11,2	27,4	42,7	35,6
5	0,6	16,4	36,1	11,6	5,7	21,7	39,4	32,3
6	0,6	12,2	39,5	9,3	6,3	29,3	51,0	41,7
7	1,0	18,6	27,6	9,2	2,3	35,6	26,7	29,4
8	1,0	20,4	31,0	8,6	4,8	41,1	26,4	31,7
9	1,0	19,7	26,8	7,4	7,7	44,8	32,3	32,0

При толщине напыленного слоя от 0,3 до 1,0 мм среднее значение прочности сцепления составило 41 МПа. С увеличением толщины покрытия от 1,0 мм и выше происходит незначительное снижение прочности сцепления. На рисунке 3 представлены зависимости адгезионной прочности от толщины покрытий.

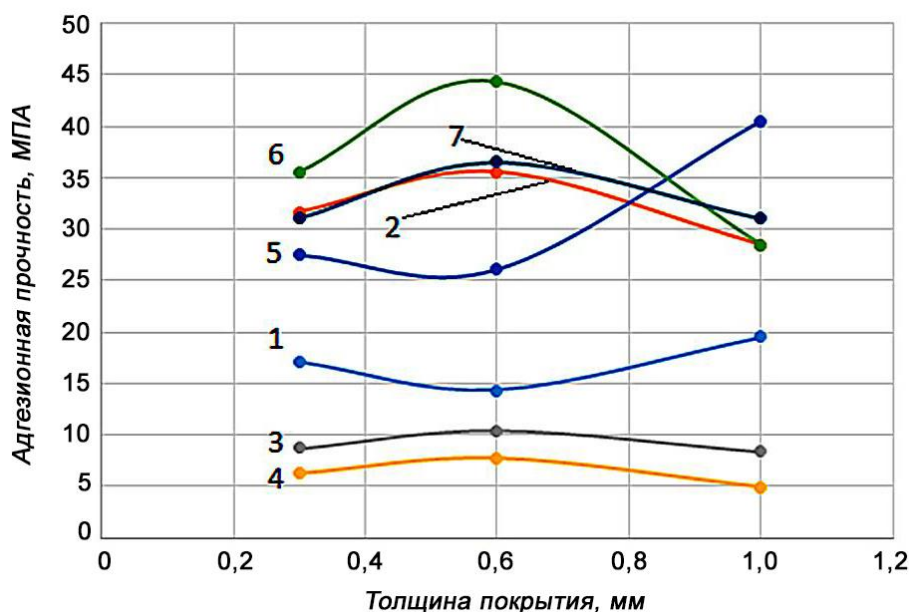


Рис. 3 – Зависимости адгезионной прочности от толщины покрытий:

1 – на основе никеля; 2 – ПН60Ю40; 3 – ПН40Ю60; 4 – на основе железо-алюминия; 5 – ПГСР-2; 6 – ПГСР-3; 7 – ПГСР-4

Увеличение остаточных внутренних напряжений обуславливается ослаблением адгезии [10]. Остаточные напряжения являются следствием термических условий напыления, различия теплофизических свойств материалов подложки и покрытия. Они возникают после остывания нанесенного слоя покрытия при макротермических циклах в зоне напыления в результате действия нагретого газа и всей массы расплавленных частиц, а также при микротермических циклах под каждой закристаллизовавшейся частицей [11].

Металлографическое исследование структуры покрытий на образцах, используемых для определения адгезионной прочности, показало, что характерным для данных покрытий являются их слоистое строение, наличие окислов, равномерно расположенных вдоль межслойных границ, пор. Наиболее дефектным, с точки зрения пористости, являются покрытия ПН60Ю40, ПН40Ю60.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- адгезионная прочность исследуемых покрытий в среднем составляет 10-40 МПа. Наибольшую прочность сцепления в напыленном состоянии имеют покрытия: ПГСП-2, ПГСП-3, ПГСП-4.
- при исследовании влияния пористости на адгезионную прочность покрытий было установлено, что наибольшую прочность имеет покрытие на основе никеля – 17 МПа при наименьшей пористости.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Сухорослова В.В. Исследование адгезионной прочности терморегулирующего покрытия / В.В. Сухорослова // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 9 (28). С. 52-53.
2. Медведева В.В. Противоизносные свойства консистентного смазочного композиционного материала, содержащего смесь гидросиликатов магния / В.В. Медведева, А.Д. Бреки, Н.А. Крылов и др. // Известия ЮГЗУ. Серия: Техника и технологии. 2016. № 2 (19). С. 30-40.
3. Бреки А.Д. Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе алюминия, упрочнённых углеродными нановолокнами, при трении по стали 12Х / А.Д. Бреки, Т.С. Кольцова, А.Н. Скворцова и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 4 (21). С. 11-23.
4. Лахно А.В. Влияние технологических факторов на адгезионную прочность композитов / А.В. Лахно // Приднепровский научный вестник. 2019. Т. 3. № 5. С. 79-82.
5. Чашин Е.А. Взаимодействие импульсного лазерного излучения с плазменным потоком, содержащим мелкодисперсную фазу / Е.А. Чашин, С.А. Балашова // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 5-1 (95). С. 80-86.
6. Макаров Э. С. Применение теории пластичности дилатирующих сред к процессам уплотнения порошков металлических систем / Э. С. Макаров, А. Е. Гвоздев, Д. В. Малий и др. // Чебышевский сборник, Т.18, выпуск 4, 2017. – С.268-284. DOI: 10.22405/2226-8383-2017-18-4-268-284.
7. Бреки А.Д. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программный комплекс для моделирования ресурсосберегающих производств обработки и фрикционного взаимодействия металлических систем» № 2017616180 / А.Д. Бреки, А.Е. Гвоздев, Д.В. Малий и др., Россия, 2017 г. зарег.10.04.2017, № заявки: 2017613672.
8. Сергеев Н.Н. Патент на полезную модель «Образец для определения адгезионной прочности покрытий» № 170385 / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев и др., Россия, 2017, зарег. 26.10.2016, № заявки: 2016142134.
9. Gvozdev A.E. Temperature distribution and structure in the heat-affected zone for steel sheets after laser cutting / A.E. Gvozdev, N.N. Sergeyev, I.V. Minayev et al. // Inorganic Materials: Applied Research. 2017. Vol. 8. № 1. P. 148-152.
10. Белашова И.С. Влияние дополнительной термической обработки газоплазменных неоднородных поверхностных слоев на остаточные напряжения и адгезионную прочность стали / И.С. Белашова, П.С. Бибики // Механика композиционных материалов и конструкций. 2021. Т. 27. № 2. С. 217-226.
11. Сергеев Н.Н. Влияние термической обработки на механические свойства арматурного проката / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, С.Н. Кутепов и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 11. № 2. С. 8-25.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Suhoroslova V. V. Issledovanie adgezionnoj prochnosti termoreguliruyushchego pokrytiya // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [The study of adhesion of the thermal control coating] / V.V. Suhoroslova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2014. – № 9 (28). – P. 52-53. [in Russian]
2. Medvedeva V.V. Protivoiznosnye svojstva konsistentnogo smazochnogo kompozicionnogo materiala, soderzhashchego smes' gidrosilikatov magniya [Anti-wear properties of a grease-based composite material containing a mixture of magnesium hydrosilicates] / V.V. Medvedeva, A.D. Breki, N.A. Krylov, et al. // Izvestiya YUGZU. Seriya: Tekhnika i tekhnologii [Proceedings of the Southwestern State University. Series: Equipment and technologies]. – 2016. – № 2 (19). – P. 30-40. [in Russian]
3. Breki A.D. Antifrikcionnye svojstva kompozicionnykh materialov na osnove alyuminiya, uprochnyonnykh uglernodnymi nanovoloknami, pri trenii po stali 12H [Antifriction properties of composite materials based on aluminum, reinforced with carbon nanofibers, during friction on steel 12H] / A.D. Breki, T. S. Koltsova, A. N. Skvortsova, et al. // Izvestiya YUGZU. Seriya: Tekhnika i tekhnologii [Proceedings of the Southwestern State University. Series: Equipment and technologies]. – 2016. – № 4 (21). – P. 11-23. [in Russian]
4. Lahno A.V. Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov na adgezionnyuyu prochnost' kompozitov [The influence of technological factors on the adhesive strength of composites] / A.V. Lahno // Pridneprovskij nauchnyy vestnik [Pridneprovsky Scientific Bulletin]. – 2019. – Vol. 3. – № 5. – P. 79-82. [in Russian]
5. Chashchin E.A. Vzaimodeystvie impul'snogo lazernogo izlucheniya s plazmennym potokom, soderzhashchim melkodispersnuyu fazu [Interaction of pulse laser radiation with plasma flow containing finely dispersed phase] / E.A. Chashchin, S.A. Balashova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2020. – № 5-1 (95). – P. 80-86. – DOI: 10.23670/IRJ.2020.95.5.013 [in Russian]

6. Makarov E. S. Primenenie teorii plastichnosti dilatiruyushchih sred k processam uplotneniya poroshkov metallicheskih sistem [Application of plasticity theory of dilating media to sealing processes of powders of metallic systems] / E. S. Makarov, A. E. Gvozdev, D. V. Maliy, et al. // Chebyshevskii Sbornik. – 2017. – Vol.18. – № 4. – P. 268-284. – DOI: 10.22405/2226-8383-2017-18-4-268-284 [in Russian]

7. Breki A.D. Certificate of state registration of the computer program: «Programmnyj kompleks dlya modelirovaniya resursosberegayushchih proizvodstv obrabotki i frikcionnogo vzaimodejstviya metallicheskih sistem» [Software package for modeling resource-saving production of processing and friction interaction of metal systems] / Breki A.D., Gvozdev A. E., Maliy D. V., et al. – 2017. – № 2017616180. – Reg. 10. 04. 2017. – Application №: 2017613672. [in Russian]

8. Sergeev N.N. Utility model patent «Obrazec dlya opredeleniya adgezionnoj prochnosti pokrytij» [Sample for determining the adhesive strength of coatings] / Sergeev N.N., Sergeev A.N., Gvozdev A.E., et al. – 2016. – № 170385. – Reg. 26.10.2016. – Application №: 2016142134. [in Russian]

9. Gvozdev A.E. Temperature distribution and structure in the heat-affected zone for steel sheets after laser cutting / A.E. Gvozdev, N.N. Sergeyev, I.V. Minayev et al. // Inorganic Materials: Applied Research. 2017. Vol. 8. № 1. P. 148-152.

10. Belashova I.S. Vliyaniye dopolnitel'noj termicheskoy obrabotki gazofaznyh neodnorodnyh poverhnostnyh sloev na ostatochnye napryazheniya i adgezionnuyu prochnost' stali [us surface layers on residual stresses and adhesive strength of steel] / I. S. Belashova, P.S. Bibikov // Mekhanika kompozicionnykh materialov i konstrukcij [Mechanics of composite materials and structures]. – 2021. – Vol. 27. – № 2. – P. 217-226. [in Russian]

11. Sergeev N.N. Vliyaniye termicheskoy obrabotki na mekhanicheskie svoystva armaturnogo prokata [The effect of heat treatment on the mechanical properties of rebar rolled products] / N.N. Sergeev, A.N. Sergeev, S.N. Kutepov et al. // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii [Proceedings of the Southwestern State University. Series: Equipment and technologies]. – 2021. Vol. –11. – № 2. – P. 8-25. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.004>**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА**

Научная статья

Овчинников Е.В.^{1,*}, Чекан Н.М.², Костюкович Г.А.³, Калынов Д.С.⁴¹ Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь;² Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь;³ Открытое акционерное общество «Белкард», Гродно, Беларусь;⁴ Общество с ограниченной ответственностью «Викон-Авто», Чкаловск, Россия

* Корреспондирующий автор (ovchin_1967[at]mail.ru)

Аннотация

Применение вакуумных покрытий позволяет существенно изменить физико-механические характеристики модифицируемых металлических субстратов. Целью работы является исследование структуры и физико-механических характеристик вакуумных покрытий на основе хрома, осажденного на стальные субстраты. Рассмотрены структура, морфология и физико-химические характеристики вакуумных нанокмпозиционных покрытий на базе рефракторных металлов и их соединений. Показано, что химический состав покрытий оказывает существенное влияние на адгезионные, триботехнические и теплофизические свойства. Исследованы триботехнические, антиадгезионные покрытия на основе хрома. Применение вакуумных покрытий на базе исследованных рефракторных металлов приводит к улучшению физико-механических характеристик модифицируемых стальных субстратов. Установлено, что формирование на поверхности покрытия фторсодержащих соединений приводит к созданию покрытий с оптимальными триботехническими характеристиками.

Ключевые слова: вакуум, покрытия, хром, триботехнические свойства, адгезионные характеристики.**STRUCTURE AND PROPERTIES OF VACUUM COATINGS BASED ON CHROMIUM COMPOUNDS**

Research article

Ovchinnikov E.V.¹, Chekan N.M.², Kostyukovich G.A.³, Kalynov D.S.⁴¹ Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus;² Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;³ BELCARD JSC, Grodno, Belarus;⁴ Vikon-Avto LLC, Chkalovsk, Russia

* Corresponding author (ovchin_1967[at]mail.ru)

Abstract

The use of vacuum coatings makes it possible to significantly change the physical and mechanical characteristics of metal substrates. The aim of the article is to study the structure and physicochemical characteristics of vacuum coatings based on chromium deposited on steel substrates. The authors examine the structure, morphology, and physicochemical characteristics of vacuum nanocomposite coatings based on refractor metals and their compounds. It is shown that the chemical composition of the coatings has a significant effect on the adhesive, tribotechnical and thermophysical properties. The study investigates tribotechnical, anti-adhesive coatings based on chromium. The use of vacuum coatings based on the studied refractor metals leads to an improvement in the physical and mechanical characteristics of the modified steel substrates. It is established that the formation of fluorinated compounds on the coating surface leads to the creation of coatings with optimal tribotechnical characteristics.

Keywords: vacuum, coatings, chrome, tribotechnical properties, adhesive characteristics.**Введение**

Одним из перспективных направлений создания защитных слоев различного функционального назначения является применение многокомпонентных вакуумных покрытий. Основой использования данных соединений стали исследования в области изучения свойств метастабильных фаз, открытых в первой половине прошлого столетия [1], [2]. Существование данных соединений определило широкое их применение в различных отраслях промышленности, т.к. данные неравновесные системы, имеющие достаточно долговременный временной интервал существования, были установлены для многих многокомпонентных сплавов и покрытий. Одним из наиболее эффективных способов повышения рабочего ресурса металлообрабатывающего инструмента является нанесение твердых и сверхтвердых износостойких покрытий на его рабочие поверхности. Для инструмента из быстрорежущей стали дополнительным требованием к покрытию является повышенная термостойкость [3], [4], [5], [6]. Современные нанокристаллические покрытия на основе нитридов титан-алюминия способны выдерживать температуру до 700°C без заметного окисления, сохраняя при этом твердость на уровне 25 – 30 ГПа. Введение кремния в состав покрытий приводит к формированию нового типа тонкопленочных материалов – композиционных нанокристаллических и аморфных покрытий, в которых кристаллиты TiAlN размерами 5 – 10 нм инкорпорированы в матрицу аморфного нитрида кремния, которая, по сути, является тонкой межзеренной прослойкой, разделяющей кристаллиты [7]. Одними из основных типов покрытий, применяемых для увеличения износостойкости, прочности и т.п. являются покрытия нитрида и карбида циркония, которые имеют более высокие коррозионные свойства в сравнении покрытиями нитрида титана. Покрытия на основе циркония обладают также более высокими механическими свойствами - твердость для ZrN составляет порядка 25 – 38 ГПа, в то время как для TiN она не превышает 21 ГПа [8], [9], [10]. Перспективным направлением в области создания вакуумных покрытий является использование в качестве базового материала хрома. В ходе трибоконтакта в результате взаимодействия поверхностей при нормальной нагрузке наблюдается износ и фреттинг контактирующих поверхностей. Обычно фреттинг наблюдается, когда происходит минимальное возвратно-поступательное (местное) перемещение двух

поверхностей относительно друг друга при коррозионном воздействии. Для повышения физико-механических характеристик выше указанных металлов и их сплавов применяются покрытия на базе нитрида хрома CrN. Защитные слои, полученные осаждением в вакууме CrN характеризуются хорошей термической стабильностью, низкой температурой осаждения, высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Однако в настоящее время нет достаточного количества информации в научной литературе об идеальных параметрах осаждения данного типа покрытия, что должно приводить к формированию малодефектных защитных слоев. Покрытия данного типа нашли применение в качестве коррозионностойких пленок в аэрокосмической технике.

Целью данной работы является исследование структуры и физико-механических характеристик вакуумных покрытий на основе хрома.

Методы и принципы исследования

Композиционные покрытия на основе хрома (нитриды, карбиды, карбонитриды хрома) наносили методом реактивного электродугового испарения на установке «УВНИПА 1-001, ВУ-2М». В качестве подложек использовал различные марки стали 20, 40. Поверхность подложек из стали подвергали закалке до HRC 50 – 55 и шлифовке до чистоты не ниже 11 класса. Перед нанесением проводили чистку и нагрев поверхности образца ионами титана при следующих режимах: ток испарителя – 105 – 110 А; потенциал на образце –1,0 кВ. Особенности строения граничных слоев в композиционных покрытиях функционального назначения исследовали с привлечением современных методов физико-химического анализа: ИК-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, атомно-силовой микроскопии. Триботехнические исследования проводили на машине трения типа FT-2, которая работает по схеме «палец-диск» в условиях сухого трения трех сферических образцов диаметром $R=1,5$ мм по плоской поверхности диска (контртела), выполненного из стали и отшлифованного на ровной плоской поверхности наждачной шкуркой или шлифовальной пастой до среднего арифметического отклонения профиля поверхности $R_a=0,1 - 0,3$ мкм. Испытания проводили при нормальной нагрузке от 20 до 100 Н и линейной скорости скольжения 0,1-0,5 м/с. Адгезионные характеристики определяли методом скретч-анализа.

Основные результаты

Морфологические особенности формирования вакуумных покрытий на малоуглеродистых сталях изучали методом атомно-силовой микроскопии (рисунки 1 – 2). Согласно полученных данных, морфология формируемых покрытий отличается от исходной поверхности.

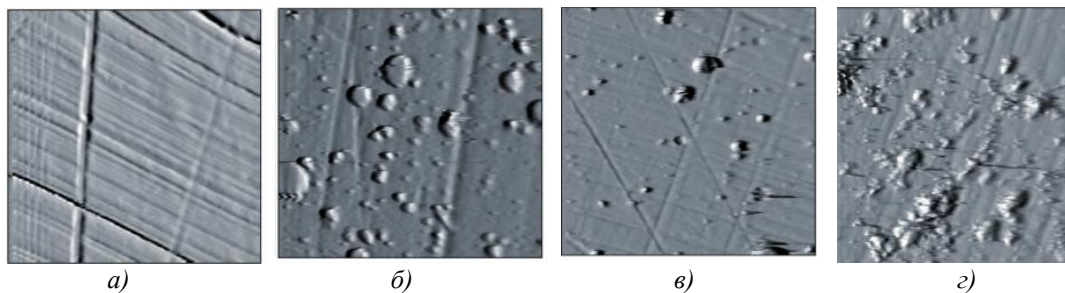


Рис. 1 –Морфология покрытий хрома на стальном субстрате:
а – исходная стальная подложка; б – покрытие хрома; в – покрытие карбонитрида хрома;
г – покрытие карбида хрома

Примечание: площадь сканирования 24х24 мкм

Исходная поверхность характеризуется сглаженным рельефом с наличием ориентированных полос, характерных для процесса полировки. Морфология получаемых вакуумных покрытий характеризуется развитой поверхностью. Так, покрытия карбонитрида хрома в свою структуру включают глобулярные образования с латеральным размером 2×2 мкм. Также наблюдается наличие мелкодисперсной фазы с размерами менее 1 мкм. Для покрытий карбонитрида хрома характерна мелкодисперсная структура. Необходимо отметить, что данные образования имеют коническую форму. Покрытия карбида хрома имеют развитую морфологию, сочетающую в себе элементы, характерные как для хромовых покрытий, так и для покрытий карбонитрида хрома.

Методом скретч-анализа оценивали адгезионные характеристики вакуумных покрытий. Для исследований использовали стандартное оборудование, применяемое для проведения испытаний, в которое входит модуль для проведения измерительного царапания, исследования износа и профилометрии. Система обратной связи используется, как контролирующая прикладываемую нагрузку, силу, действующую на образец, не зависящую от топографии поверхности. Процедура предварительного сканирования позволяет измерять реальную глубину проникновения при скретч-тесте для характеристики упругого восстановления, используя процедуру постсканирования [11], [12].

Проведены исследования адгезионных характеристик вакуумных покрытий Cr, CrC, CrCN (рисунки 2 – 8).

Исходя из полученных данных, можно предположить, что при изменяющейся нормальной нагрузке, действующей на индентор в диапазоне от 1 Н до 25 Н, для хромовых покрытий, полученных методом PVD, полное отслаивание хромовых покрытий от субстрата наблюдается в диапазоне от 9 Н до 11 Н.

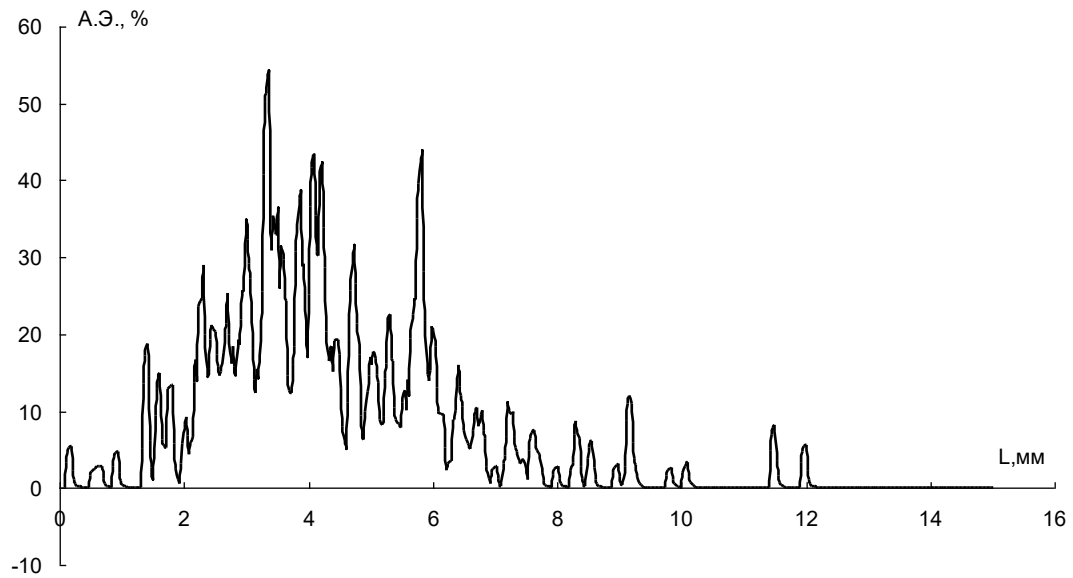


Рис. 2 – Зависимость значений акустического сигнала от длины царапины (покрытие Cr)

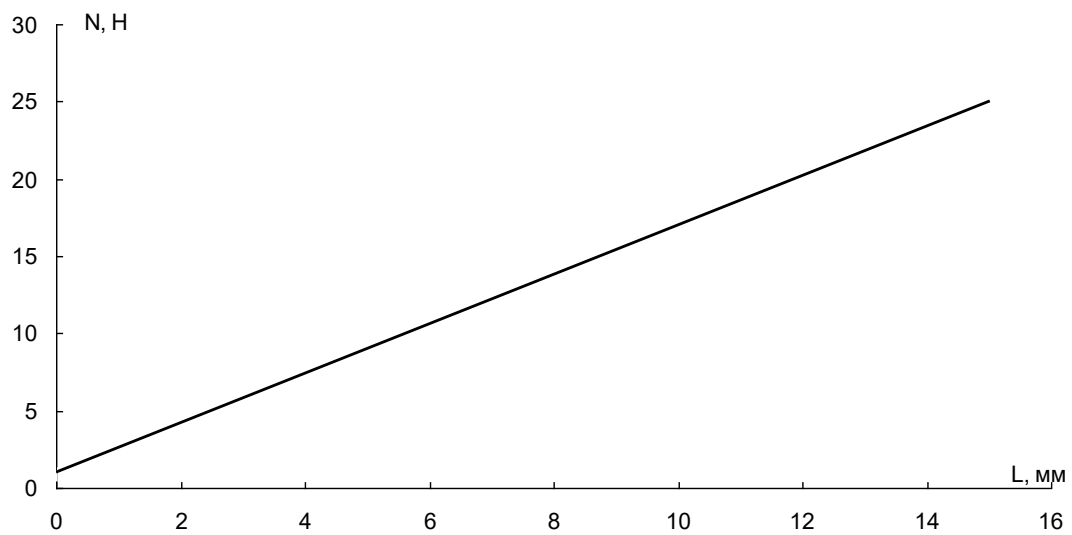
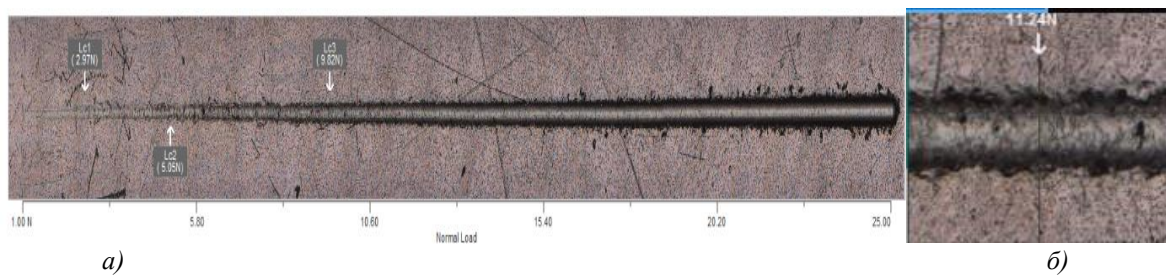


Рис. 3 – Зависимость величины нормальной нагрузки от длины царапины (покрытие Cr)



а)

б)

Рис. 4 – Вид царапины на покрытии Cr, полученной методом скретч-анализа:
а – вид царапины; б – фрагмент царапины, где происходит полное отслоение покрытия от подложки

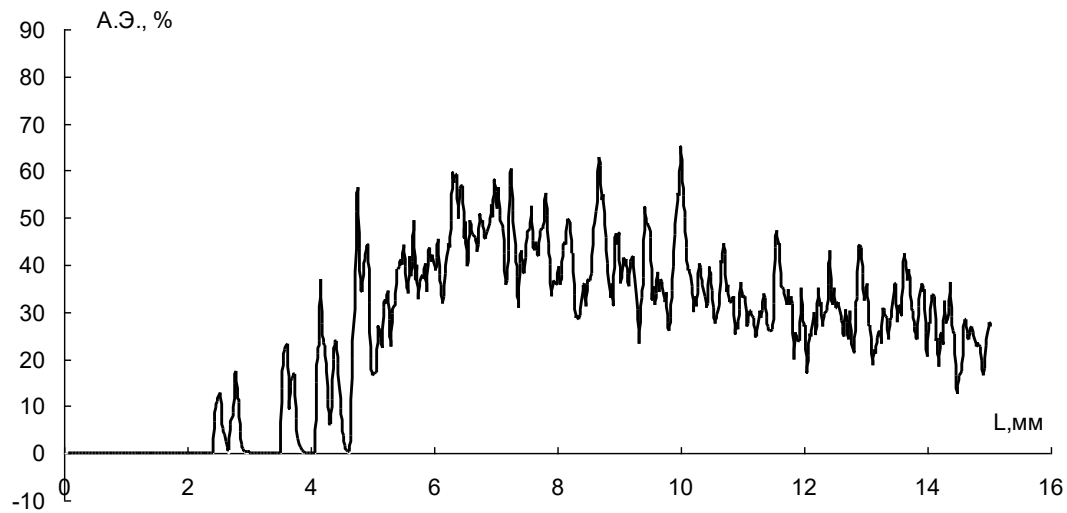


Рис. 5 – Зависимость значений акустического сигнала от длины царапины (покрытие CrCN)

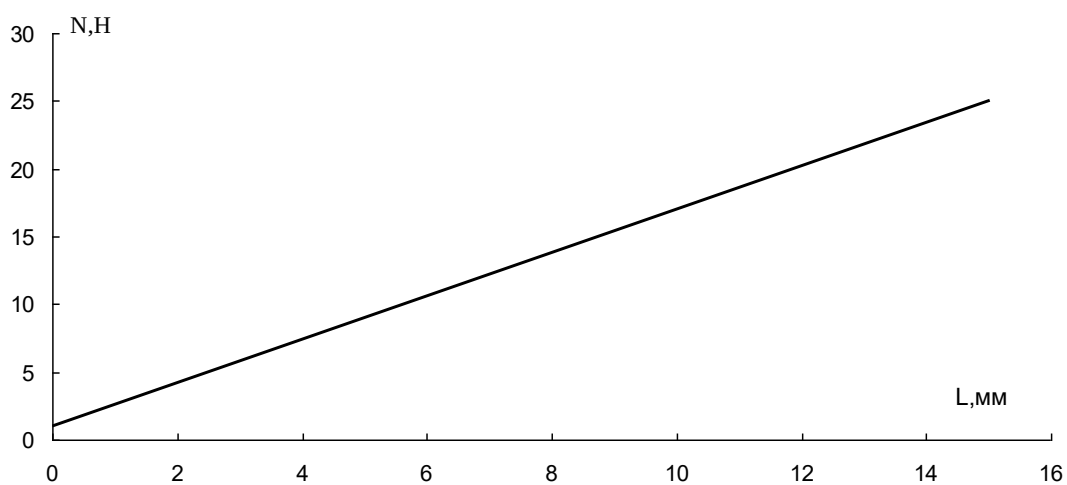
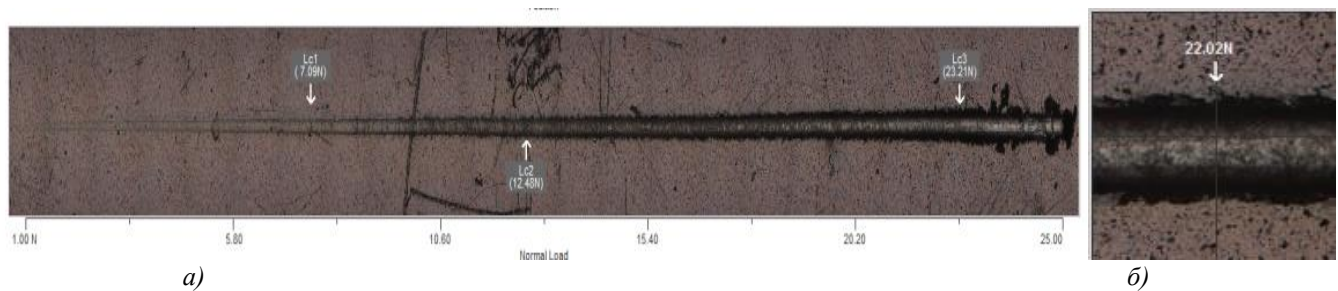


Рис. 6 – Изменение значений нормальной от длины царапины (покрытие CrCN)

Рис. 7 – Вид царапины на покрытии CrCN, полученной методом скретч-анализа:
а – вид царапины; б – фрагмент царапины, где происходит полное отслоение покрытия от подложкиРис. 8 – Вид царапины на покрытии CrC, полученной методом скретч-анализа:
а – вид царапины; б – фрагмент царапины, где происходит полное отслоение покрытия от подложки

В отличие от покрытий хрома, сформированного на поверхности стального образца, покрытия CrCN начинают отслаиваться при значениях, находящиеся в области 12 – 13 Н. Полное отслоение покрытия от субстрата наблюдается при значениях ~23 Н.

Распространенными покрытиями на базе Cr являются CrC, CrCN. Покрытия CrC характеризуются высокой твердостью (~ 35 ГПа), что обеспечивает высокие триботехнические характеристики. Данный класс покрытий обладает высокой диффузионной стойкостью, а также стойкостью к окислительным процессам, что позволяет расширить область применения по сравнению с покрытиями TiC.

Покрытия CrCN находят применение как в качестве высокотвердого, антифрикционного покрытия на инструмент, так и снижающего трение в тяжело нагруженных узлах трения автомобильной и автотракторной техники. Покрытие часто имеет многослойную структуру с постепенным увеличением к поверхности доли углерода. Для увеличения износостойкости проводят технологические операции по замещению атомов азота углеродом в кристаллической решетке хрома, что делает покрытие более хрупким, но приводит к повышению твердости. Для увеличения вязкости используются различные способы, в том числе создание многослойной структуры, чтобы между ними создавались внутренние напряжения.

Ряд производителей для увеличения эксплуатационного ресурса обрабатываемого инструмента используют многослойные композиционные покрытия на основе CrN. Типичной системой является слой Cr, обеспечивающий хорошую адгезию со стальным субстратом. Затем формируют слои CrN, чередующиеся со слоями CrN. Данную «сэндвичевую» структуру завершает слой CrNO. Обычно такие композиционные покрытия применяют для инструмента (сверла, метчики и т.п.), предназначенного для обработки стальных изделий. Другим направлением применения данного класса покрытий является модифицирование инструмента (в частности, концевых фрез), предназначенного для обработки цветных металлов, а также литевых форм. Это аморфное покрытие обладает низкой кристаллохимической совместимостью с Al сплавами, что снижает вероятность наклепа и задиров при механической обработке. Твердость покрытия CrN выше, чем обычного CrN, причем толщина покрытия не превышает 1 мкм. Для снижения шероховатости поверхности покрытие подвергается специальной обработке ($R_z=1$ мкм), после которой оно приобретает радужную окраску [13].

Рассмотрим триботехнические характеристики пар «алмазный индентор-покрытие Cr», «алмазный индентор-покрытие CrC», «алмазный индентор-покрытие CrN». На рисунках 9 – 11 представлены зависимости коэффициента трения от давления.

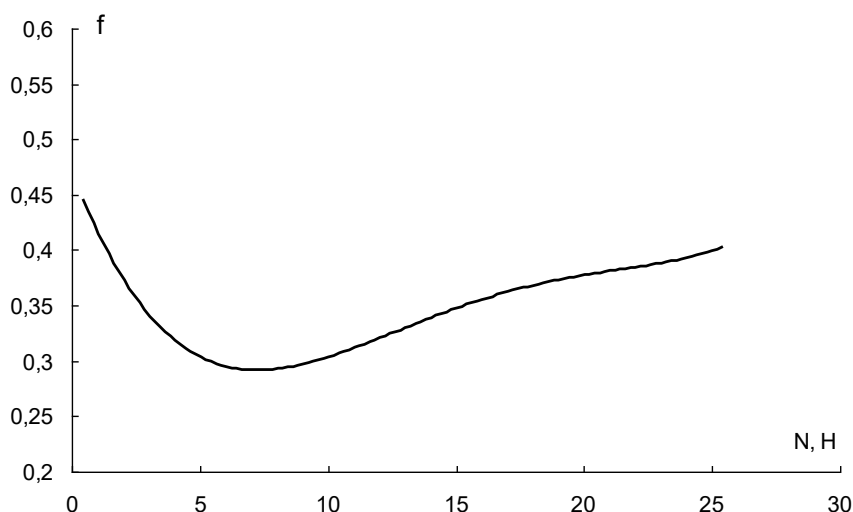


Рис. 9 – Зависимость коэффициента трения пары «алмазный индентор-покрытие Cr» от нормальной нагрузки

Обычно влияние нормальной нагрузки на коэффициент трения проявляется в зависимости от типа взаимодействия между телом трения и контртелом. Зависимость $f(N)$ является немонотонной функцией с точкой экстремума, которая определяет переход от упругого к пластическому контакту.

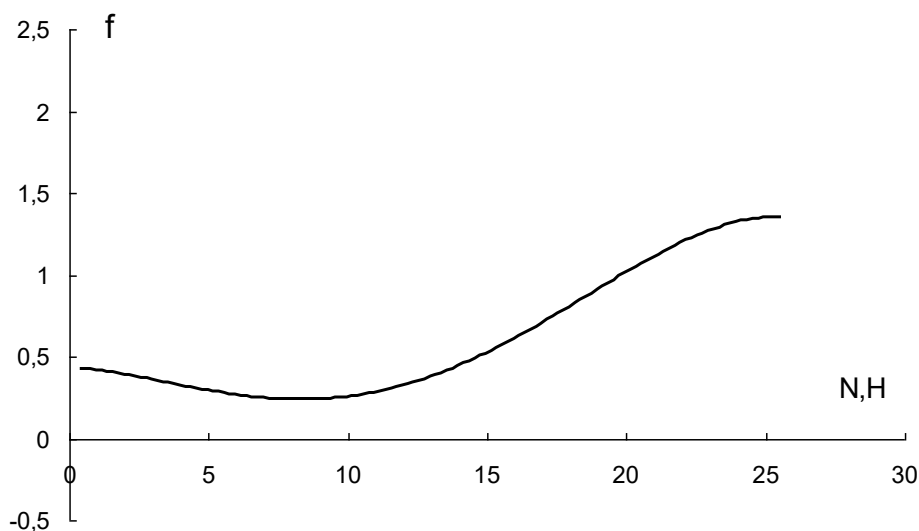


Рис. 10 – Зависимость коэффициента трения пары «алмазный индентор-покрытие CrN» от нормальной нагрузки

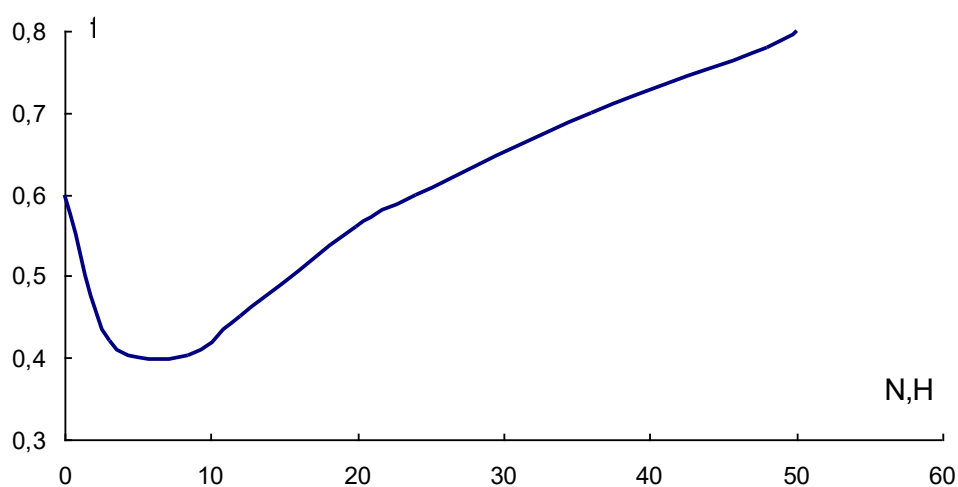


Рис. 11 – Зависимость коэффициента трения пары «алмазный индентор-покрытие CrC» от нормальной нагрузки

Согласно классических представлений [14], положение минимума зависит от соотношения молекулярной и механической составляющей. Значения минимума для покрытий Cr находятся в области 7 Н, CrN – 9 – 10 Н, CrC – 5 – 6 Н. Можно предположить, что переход из одного вида контакта в другой является началом разрушения покрытия на субстрате. Однако, как показали исследования, в большинстве случаев данное соотношение $f_{уп}/f_{пласт}$ характеризует процесс вдавливания покрытия в основу субстрата. Изучение морфологии самой царапины методом оптической микроскопии показывает, что разрушение покрытия наступает гораздо позже, чем переход от молекулярного к пластическому виду контакта.

Наиболее оптимальным коэффициентом трения обладает хромовое покрытие в исследуемом диапазоне нагрузок. Покрытие CrN в области нагрузок до 10 Н обладает наименьшим коэффициентом трения из всех исследуемых типов покрытий. Увеличение нагрузки приводит к резкому возрастанию значений коэффициента трения для пары «алмазный индентор-покрытие CrN». Покрытие CrC имеет более высокий коэффициент трения по сравнению с другими видами исследуемых покрытий. Возможно, это обусловлено развитой морфологией покрытия CrC.

Заключение

Наиболее оптимальным коэффициентом трения обладает хромовое покрытие в исследуемом диапазоне нагрузок. Покрытие CrN в области нагрузок до 10 Н обладает наименьшим коэффициентом трения из всех исследуемых типов покрытий. Увеличение нагрузки приводит к резкому возрастанию значений коэффициента трения для пары «алмазный индентор-покрытие CrN». Покрытие CrC имеет более высокий коэффициент трения по сравнению с другими видами исследуемых покрытий. Возможно, это обусловлено развитой морфологией покрытия CrC. Наиболее оптимальным коэффициентом трения обладает хромовое покрытие в исследуемом диапазоне нагрузок. Покрытие CrN в области нагрузок до 10 Н обладает наименьшим коэффициентом трения из всех исследуемых типов покрытий. Увеличение нагрузки приводит к резкому возрастанию значений коэффициента трения для пары «алмазный индентор-покрытие CrN». Покрытие CrC имеет более высокий коэффициент трения по сравнению с другими видами исследуемых покрытий. Возможно, это обусловлено развитой морфологией покрытия CrC.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Сплавы никелида титана с памятью формы. Часть I. / под ред. В.Г. Пушина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 439 с.
2. Филонов, М.Р. Теоретические основы производства аморфных и нанокристаллических сплавов методом сверхбыстрой закалки / М.Р. Филонов, Ю.А. Аникин, Ю.Б. Левин. – М.: Изд-во МИСиС, 2006. – 328 с.
3. Nano-crystalline filtered arc deposited (FAD) TiAlN PVD coatings for high-speed machining applications / G.S. Fox-Rabinovich [et al.] // Surf. And Coat. Technol. – 2004. – Vol. 177-178. – P. 800-805.
4. Plasma-based ion implantation utilising a cathodic arc plasma / M.M.M. Bilek [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2003. – Vol. 156. – P. 136-142.
5. Сергеев А. Е., Механические и трибологические свойства пленок Al-Ti-N / А. Е. Сергеев, В. Ю. Ерошков // Вестник РГТА им. П. А. Соловьева. 2011. № 1 (19). 87 с
6. Binnig, G. Atomic force microscope / G. Binnig, C.F. Quate, Ch. Gerber. // Phys. Rev. Lett. – 1986 - Vol. 56 - № 9 - P. 930 – 933.
7. Different approaches to superhard coatings and nanocomposites / S. Veprek [et al.] // Thin Solid Films. – 2005. – Vol. 476. – P. 1-29.
8. Фазовый состав покрытий системы Zr-C-N / Н.М. Чекан [и др.] // Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития : материалы II республиканской научно-технической конференции, Гродно, 17 - 18 мая 2012 г./ Учреждение образования "Гродненский гос. ун-т им. Я.Купалы"; редкол.: В.А. Струк [и др.]. - Гродно: ГрГУ, 2012. – С.219–222.
9. Коваленко, В.И. Прочность поверхностных слоев циркониевых сплавов и вакуумно-дуговых покрытий при микроударном воздействии / В.И. Коваленко, В.Г. Маринин // Вопросы атомной науки и техники – 2008. - № 1. – С. 77-80.
10. Comparison of ZrN and TiN formed by plasma based ion implantation & deposition / S. Heinrich [et al.] // Surf. Coat. Technol. – 2008 – Vol. 202. – P. 2310–2313.
11. CSM Instruments. Техническое описание. Микро Скрегч Тестер (MST 2) [Электронный ресурс]. URL: http://lab-nnz.ru/wp-content/uploads/02-MST2_Technical-Features_2011-RUS.pdf. – (дата обращения: 29.11.2016)
12. Титан и сплавы титановые деформируемые: ГОСТ 19807-91. – Введ. 01.07.1992. – Москва: Министерство авиационной промышленности СССР: Издательство стандартов, 2001. – 6 с.
13. Локтев, Д. Основные виды износостойких покрытий / Д. Локтев, Е. Ямашкин // Наноиндустрия. – 2007. – №5. – С. 24-30.
14. Алмазоподобные нанокompозитные покрытия а-С:Н:Cr – структурное состояние, механические и трибологические свойства/ Хрущов, М. М. [и др.] // Известия РАН. серия физическая – 2014 – Т.78, № 10 с. 1257–1265

Список литературы на английском языке / References in English

1. Splavy nikelida titana s pamiat'iu formy. [Shape memory titanium nickelide alloys]. Part I. / ed. V.G. Pushina. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2006. – 439 p. [in Russian]
2. Filonov, M.R. Teoreticheskie osnovy proizvodstva amorfnykh i nanokristallicheskiy splovov metodom sverkhbystroj zakalki [Theoretical foundations of the production of amorphous and nanocrystalline alloys by ultrafast quenching] .Theoretical foundations of the production of amorphous and nanocrystalline alloys by ultrafast quenching / M.R. Filonov, Iu.A. Anikin, Iu.B. Levin. – M.: Publishing house MISiS, 2006. – 328 p. [in Russian]
3. Nano-crystalline filtered arc deposited (FAD) TiAlN PVD coatings for high-speed machining applications / G.S. Fox-Rabinovich [et al.] // Surf. And Coat. Technol. – 2004. – Vol. 177-178. – P. 800-805.
4. Plasma-based ion implantation utilising a cathodic arc plasma / M.M.M. Bilek [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2003. – Vol. 156. – P. 136-142.
5. Sergeev A. E. Mekhanicheskie i tribologicheskie svoistva plenok Al-Ti-N [Mechanical and tribological properties of Al-Ti-N films] // A. E. Sergeev, V. Iu. Eroshkov // Vestnik RGATA im. P. A. Solov'eva [Bulletin of the RGATA im. P. A. Solovyova]. 2011. № 1 (19). 87 p. [in Russian]
6. Binnig, G. Atomic force microscope / G. Binnig, C.F. Quate, Ch. Gerber. // Phys. Rev. Lett. – 1986 - Vol. 56 - № 9 - P. 930 – 933.
7. Different approaches to superhard coatings and nanocomposites / S. Veprek [et al.] // Thin Solid Films. – 2005. – Vol. 476. – P. 1-29.
8. Fazovyi sostav pokrytii sistemy Zr-C-N [Phase composition of coatings of the Zr-C-N system] / N.M. Chekan et al. // Promyshlennost' regiona: problemy i perspektivy innovatsionnogo razvitiia : materialy II respublikanskoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii, Grodno, 17 - 18 maia 2012 g. [Industry of the region: problems and prospects of innovative development: materials of the II republican scientific and technical conference, Grodno, May 17 - 18, 2012] / Uchrezhdenie obrazovaniia "Grodenskii gos. un-t im. Ia.Kupaly"; redkol.: V.A. Struk et al.- Grodno: GrGU, 2012. – P. 219–222. [in Russian]
9. Kovalenko, V.I. Prochnost' poverkhnostnykh sloev tsirkonievyykh splovov i vakuumno-dugovykh pokrytii pri mikroudarnom vozdeistvii [Strength of surface layers of zirconium alloys and vacuum-arc coatings under microshock impact] / V.I. Kovalenko, V.G. Marinin // Voprosy atomnoi nauki i tekhniki [Problems of Atomic Science and Technology] – 2008. - № 1. – P. 77-80. [in Russian]
10. Comparison of ZrN and TiN formed by plasma based ion implantation & deposition / S. Heinrich [et al.] // Surf. Coat. Technol. – 2008 – Vol. 202. – P. 2310–2313.

11. CSM Instruments. Tekhnicheskoe opisanie. Mikro Skretch Tester (MST 2) [Electronic resource] / «Nienshants-Saintifik». – URL: http://lab-nnz.ru/wp-content/uploads/02-MST2_Technical-Features_2011-RUS.pdf. (accessed: 29.11.2016). [in Russian]
12. Titan i splavy titanovye deformiruemye: GOST 19807-91. [Titanium and titanium alloys wrought: GOST 19807-91] - Introduce. 07/01/1992.– Vved. 01.07.1992. – Moskva: Ministerstvo aviatsionnoi promyshlennosti SSSR: Publishing house standartov [Standards Publishing House], 2001. – 6 p. [in Russian]
13. Loktev, D. Osnovnye vidy iznosostoikikh pokrytii [The main types of wear-resistant coatings] / D. Loktev, E. Iamashkin // Nanoindustriia [Nanoindustriya]. – 2007. – №5. – P. 24-30. [in Russian]
14. Almazopodobnye nanokompozitnye pokrytiia a-C:H:Cr – strukturnoe sostoianie, mekhanicheskie i tribologicheskie svoistva [Diamond-like nanocomposite coatings a-C: H: Cr - structural state, mechanical and tribological properties] / Khrushchov, M. M. et al.- // Izvestiia RAN. seriia fizicheskaiia [Izvestiya RAN. physical series] – 2014 – Vol.78, № 10 p. 1257–1265. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.005>САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ СУБМИКРОННОГО ПОРОШКА НИТРИДА АЛЮМИНИЯ ИЗ СМЕСИ ПОРОШКОВ $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + z\text{Al}$

Научная статья

Шоломова А.В.^{1,*}, Титова Ю.В.², Майдан Д.А.³, Амосов А.П.⁴¹ ORCID: 0000-0003-2405-1390;² ORCID: 0000-0001-6292-280X;³ ORCID: 0000-0002-0195-4506;⁴ ORCID: 0000-0003-1994-5672;^{1, 2, 3, 4} Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (sholomovaav[at]gmail.com)

Аннотация

Исследована возможность синтеза субмикронного порошка нитрида алюминия при сжигании смеси азид натрия (NaN_3) с элементарным порошком алюминия (Al) и комплексной галоидной солью $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ в атмосфере азота. Определены параметры горения, химический и фазовый составы, морфология и размеры частиц синтезированных продуктов. Установлено, что при использовании комплексной галоидной соли $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ размер и морфология частиц синтезируемого порошка нитрида алюминия зависят от содержания Al в исходной смеси. В отсутствие энергетической добавки Al продукт горения представляет собой агломераты равноосных наночастиц размером около 100 нм. При содержании Al в шихте в количестве 10 молей, продукт горения представляет собой субмикронные частицы сферической формы, диаметром 200-400 нм. При увеличении содержания Al до 20 молей, нитрид алюминия синтезируется в виде субмикронных волокон диаметром 100-300 нм и длиной до 3 мкм.

Ключевые слова: азид натрия, гексафторалюминат аммония, горение, синтез, AlN.

SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS OF SUBMICRON ALUMINUM NITRIDE POWDER FROM A MIXTURE OF POWDERS $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + z\text{Al}$

Research article

Sholomova A.V.^{1,*}, Titova Yu.V.², Maydan D.A.³, Amosov A.P.⁴¹ ORCID: 0000-0003-2405-1390;² ORCID: 0000-0001-6292-280X;³ ORCID: 0000-0002-0195-4506;⁴ ORCID: 0000-0003-1994-5672;^{1, 2, 3, 4} Samara State Technical University, Samara, Russia

* Corresponding author (sholomovaav[at]gmail.com)

Abstract

The current article investigates the possibility of synthesis of submicron aluminum nitride powder by burning a mixture of sodium azide (NaN_3) with elemental aluminum powder (Al) and a complex halide salt $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ in a nitrogen atmosphere. The authors determine the combustion parameters, chemical and phase compositions, as well as the morphology and particle sizes of the synthesized products. It was found that when using a complex halide salt $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$, the size and morphology of the particles of the synthesized aluminum nitride powder depend on the Al content in the initial mixture. In the absence of an Al energy additive, the combustion product is agglomerates of equiaxed nanoparticles with a size of about 100 nm. When the Al content in the charge is 10 moles, the combustion product is a spherical submicron particle with a diameter of 200-400 nm. When the Al content increases to 20 moles, aluminum nitride is synthesized in the form of submicron fibers with a diameter of 100-300 nm and a length of up to 3 microns.

Keywords: sodium azide, ammonium hexafluoroaluminate, gorenje, synthesis, AlN.

Введение

Нитрид алюминия (AlN) является единственным материалом технической керамики с сочетанием очень высокой теплопроводности и отличных электроизоляционных свойств, что в совокупности с его прочностью, низким коэффициентом теплового расширения и хорошей способностью к металлизации предопределило широкое применение в микроэлектронике, а также в производстве светодиодов. Из-за полупроводниковых свойств AlN имеет перспективу потенциального применения в оптоэлектронике. Тугоплавкость нитрида алюминия используется для изготовления тиглей, наконечников термодар, сопел, а его твердость – для упрочнения алюмоматричных композитов. В большом числе случаев изделия небольших размеров с высокой плотностью изготавливаются методами прессования и спекания, а также горячего прессования из порошка нитрида алюминия. Чем меньше размер частиц порошка, тем легче прессуется и спекается этот порошок, поэтому значительное внимание уделяется производству субмикронного порошка AlN с размером частиц 100-500 нм и нанопорошка AlN с размером частиц менее 100 нм. Применение субмикронного порошка AlN для дисперсного армирования позволяет значительно повысить прочность алюмоматричных композитов при сохранении достаточного запаса пластичности [1], [2], [3], [5].

Субмикронный порошок нитрида алюминия практически невозможно получить с помощью обычного механического измельчения, поэтому было разработано большое количество химических и физико-химических методов его получения, таких как карботермический синтез, плазмохимический синтез, золь-гель метод с восстановительным азотированием в аммиаке, синтез сжиганием на воздухе, раздувом из раствора, синтез дуговым разрядом и др. [6], [8], [11]. Однако из-за большого энергопотребления, сложного оборудования, высокой стоимости сырья, большинство из этих методов не используется для производства субмикронного порошка нитрида алюминия. В

настоящее время на рынке представлены только нанопорошки нитрида алюминия, получаемые по технологии плазмохимического синтеза, стоимость которых доходит до 200 000 руб/кг.

Известные технологии получения нитрида алюминия характеризуются большим электропотреблением, сложным оборудованием и не всегда обеспечивают наноразмерность порошка AlN. Недостатки известных технологий могут быть устранены с использованием открытого в 1967 году российскими учеными А. Г. Мержановым, И. П. Боровинской и В. М. Шкиро способа самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), который идет за счет собственного тепловыделения горения в простом малогабаритном оборудовании и занимает мало времени. Однако реализация СВС в классическом варианте с использованием газообразного азота в качестве азотирующего реагента не позволяет при синтезе нитрида алюминия получать наноразмерный порошок [12].

Для решения задачи получения субмикронного порошка AlN по ресурсосберегающей технологии СВС перспективно использование такого ее варианта, как азидная технология СВС, которая обозначается как СВС-Аз и с 1970 года разрабатывается в Самарском государственном техническом университете. Технология СВС-Аз основана на использовании азидата натрия (NaN_3) в качестве твердого азотирующего реагента и галоидных солей. Для азидной технологии СВС характерны невысокие температуры горения и образование большого количества газообразных продуктов, которые затрудняют слияния первоначальных частиц продуктов синтеза и позволяют сохранить их в наноразмерном состоянии. Ее применение с использованием галоидной соли AlF_3 позволило получить нанопорошок нитрида алюминия, но с большим содержанием (35%) примеси водонерастворимой побочной соли криолита Na_3AlF_6 . Таким образом, представляет интерес исследование возможности получения AlN по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [13], [14].

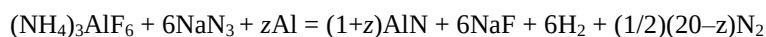
Целью работы является синтез субмикронного порошка нитрида алюминия с использованием азидата натрия и комплексной галоидной соли — $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$, которая не использовалась ранее, для уменьшения содержания побочной соли криолита, и применение синтезированного порошка AlN для жидкофазного армирования алюмоматричных композитов.

Методы и принципы исследования

Показано, что использование в процессах горения твердого азотирующего компонента (азидата натрия) позволяет создать высокие концентрации реагирующих компонентов в зоне горения, в результате чего устраняются фильтрационные затруднения, что значительно упрощает процесс азотирования и позволяет получать целевой порошок AlN.

Анализ широкого класса неорганических галоидных солей, предполагаемых для использования в системах СВС, показывает, что наибольшего внимания заслуживают соли галогенида азотируемого элемента (гексафторалюминат натрия, гексафторалюминат калия и гексафторалюминат аммония). Соль $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ как объект исследования в самораспространяющемся высокотемпературном синтезе является новой, ранее не изученной, и в этом отношении представляет научный интерес.

Так же известно, что при недостаточно высокой температуре, продукты горения наряду с целевым нитридом могут содержать промежуточные соединения (Na_3AlF_6). Поэтому актуальным является и исследование влияния добавки алюминия в шихту, для повышения энергетики системы. При этом уравнение получения нитрида алюминия будет выглядеть следующим образом:



где z — 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 – число молей добавки алюминия.

Для экспериментального исследования в качестве исходного сырья использовали (здесь и далее указываются масс. %): порошок алюминия марки АСД-1 (содержание основного вещества $\geq 99,5$ %); порошок гексафторалюмината аммония классификация «Ч» ($\geq 99,1$ %), порошок азидата натрия классификации «Ч» ($\geq 98,71$ %). Смесь высушенных исходных порошков, взятых в заданном соотношении, перемешивали вручную в фарфоровой ступке в течение 5-10 мин до визуального равномерного распределения компонентов. Подготовленную смесь порошков (шихту) засыпали в кальковый стаканчик диаметром 30 мм и высотой 45 мм, помещали в фильтрующую сборку из углеткани и вставляли две вольфрам-ренийевые термодопы. Насыпная относительная плотность порошковых смесей составляла в среднем 40 % от максимально возможной плотности беспористых смесей заданных составов. Собранный конструктив устанавливали на предметную полочку лабораторного реактора СВС-Аз постоянного давления с рабочим объемом 4,5 литра [15]. В реакторе создавалось давление газообразного азота 4 МПа и электрической вольфрамовой спиралью накаливании инициировалось горение.

После синтеза образец извлекали из реактора и разрушали вручную до сыпучего порошкообразного состояния в фарфоровой ступке. Затем порошкообразный продукт горения промывали дистиллированной водой от остатка побочного продукта – фторида натрия до кислотно-щелочного баланса промывной воды $\text{pH} = 8$.

Исследовали элементный и фазовый составы, микроструктуру и размер частиц продуктов горения. Фазовый состав синтезированных продуктов определяли на порошковом рентгеновском дифрактометре ARL E'ra-138, оснащенном рентгеновской трубкой с медным анодом максимальной мощностью 2200 Вт. Сканирование проводили в диапазоне углов 2θ (20...80)° со скоростью 2°/мин. Расшифровку дифрактограмм и количественную оценку фазового состава методом Ритвельда выполняли в программе PDXL 1.8 с использованием баз кристаллографических данных PDF-2009 и COD-2019. Исследование морфологии и размера частиц синтезированных композиций проводили по изображениям микроструктуры продуктов горения на растровом электронном микроскопе JSM-6390A фирмы «Jeol».

Основные результаты

Результаты экспериментального определения параметров горения: максимальной температуры T_{Γ} , скорости U_{Γ} , максимального давления P_{Γ} , теоретического (M_{Γ}) и практического ($M_{\Gamma P}$) выхода конденсированных продуктов горения исходных шихт для синтеза порошка нитрида алюминия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры горения исходных шихт для синтеза AlN

Содержание алюминия в смеси, z, моль	Температура горения, T_{Γ} , °C	Скорость горения, U_{Γ} , см/с	Скачок давления, ΔP , МПа	Кислотно-щелочной баланс, pH	Теоретический выход AlN, г	Практический выход промытых продуктов горения, г
0	1310	0,8	1,30	8	3,31	2,15
2	1630	0,9	1,30	8	9,35	6,08
4	2217	0,9	1,30	8	17,22	12,05
6	2452	1,0	0,50	8	22,84	16,13
8	2492	1,0	0,40	8	27,90	23,67
10	2534	1,1	0,51	8	32,48	29,55
12	2617	1,1	0,45	8	36,65	33,72
14	2642	1,2	0,51	8	40,45	37,21
16	2614	1,3	0,52	8	43,94	41,76
18	2644	1,3	0,52	8	47,15	43,84
20	2780	1,4	0,53	8	55,11	51,25

Из анализа приведенных в таблице 1 данных следует, что увеличение количества алюминия в шихте приводит к увеличению температуры и скорости горения. Из таблицы 1 также видно, что практический выход продукта тем больше, чем больше содержание соли Al в шихте.

Полученные экспериментальные зависимости температуры и скорости горения системы от содержания алюминия в смеси « $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + z\text{Al}$ » аппроксимируются функциями вида:

$$T_{\Gamma}(z) = -5,3761z^2 + 169,42z + 1432,6, \text{ при } R^2 = 0,9339;$$

$$U_{\Gamma}(z) = -0,0004z^2 + 0,0218z + 0,8, \text{ при } R^2 = 0,9915.$$

В таблице 2 представлены результаты количественного рентгенофазового анализа состава продуктов горения исходных смесей порошков (шихт) после водной промывки и удаления NaF.

Таблица 2 – Составы продуктов горения исходных шихт

№	Исходная шихта	Состав продуктов горения, масс. %	
		AlN, масс. %	Na_3AlF_6 , масс. %
1.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3$	39,0	61,0
2.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 2\text{Al}$	42,4	57,6
3.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 4\text{Al}$	49,1	50,9
4.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 6\text{Al}$	64,8	35,2
5.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 8\text{Al}$	73,5	26,5
6.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 10\text{Al}$	80,5	19,5
7.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 12\text{Al}$	83,9	16,1
8.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 14\text{Al}$	86,2	13,8
9.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 16\text{Al}$	90,7	9,3
10.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 18\text{Al}$	92,0	8,0
11.	$(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3 + 20\text{Al}$	95,0	5,0

Установлено, что при использовании комплексной галоидной соли $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ состав синтезированного продукта сильно зависит от содержания энергетической добавки порошка Al в смесь « $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3$ ». В отсутствие энергетической добавки порошка Al продукт горения состоит из двух фаз: AlN – 39,0 масс.%, Na_3AlF_6 – 61,0 масс. %. При содержании Al в шихте в количестве 10 состав продуктов горения — AlN – 80,5 масс.%, Na_3AlF_6 – 19,5 масс. %. При увеличении содержания Al до 20 молей, содержание нитрида алюминия возрастает: AlN – 95,0 масс.%, Na_3AlF_6 – 5,0 масс. %.

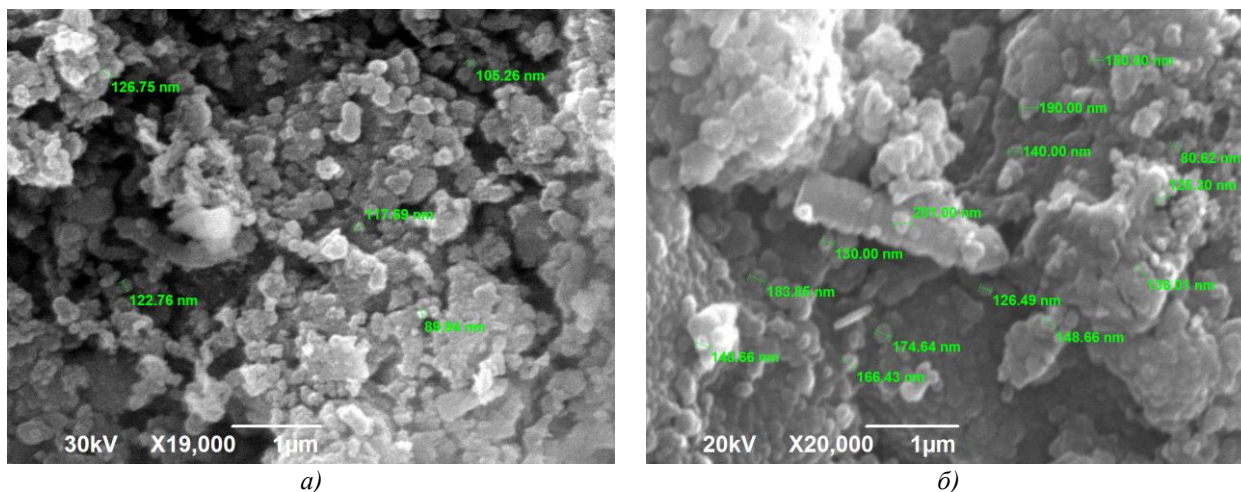


Рис. 1.1 – Микроструктура продуктов горения исходных шихт при различном содержании Al:
а) $z = 0$; б) $z = 2$

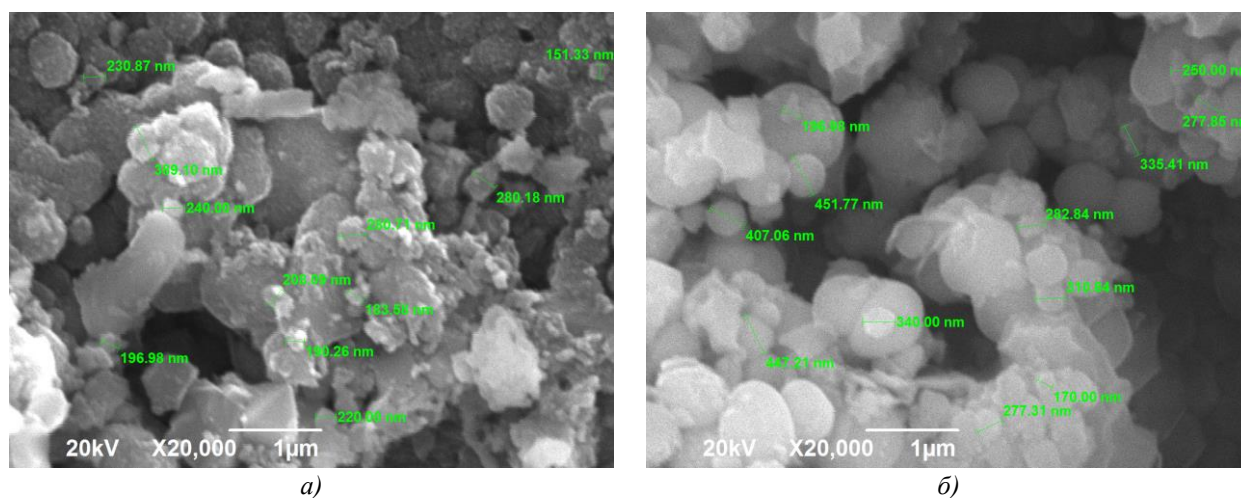


Рис. 1.2 – Микроструктура продуктов горения исходных шихт при различном содержании Al:
а) $z = 4$; б) $z = 6$

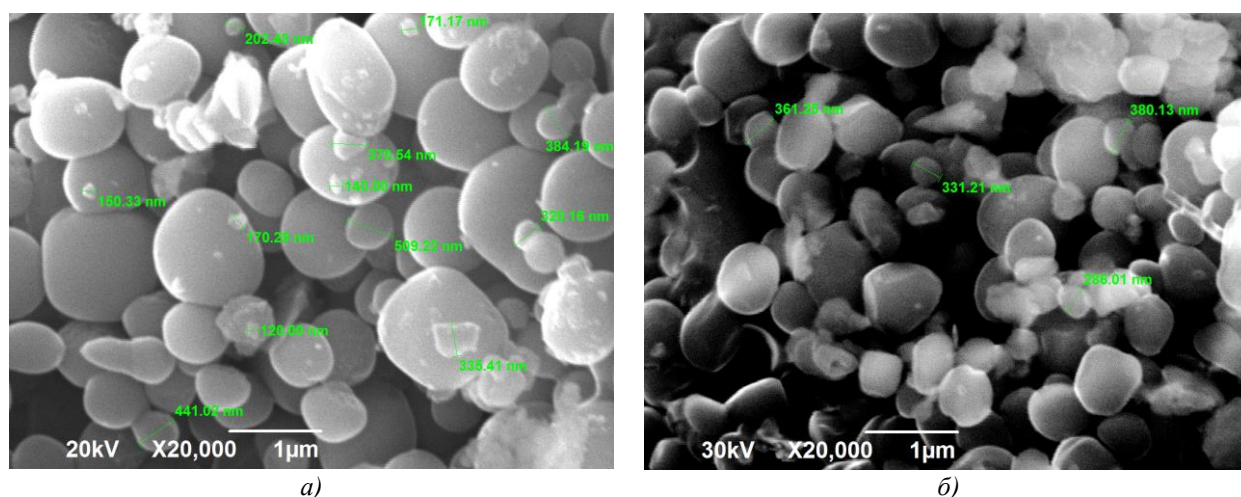


Рис. 1.3 – Микроструктура продуктов горения исходных шихт при различном содержании Al:
а) $z = 8$; б) $z = 10$

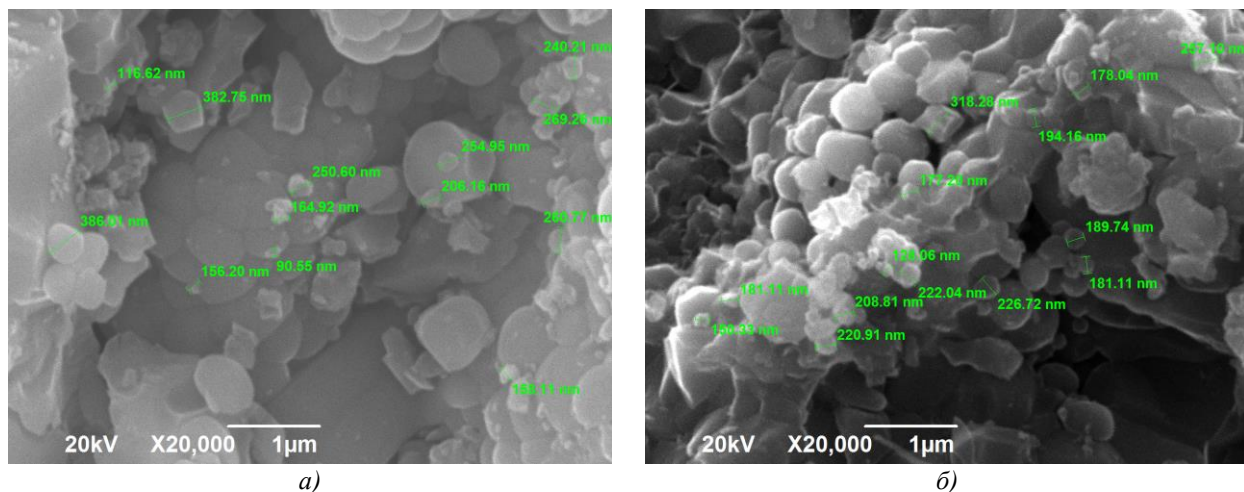


Рис. 1.4 – Микроструктура продуктов горения исходных шихт при различном содержании Al:
а) $z = 12$; б) $z = 14$

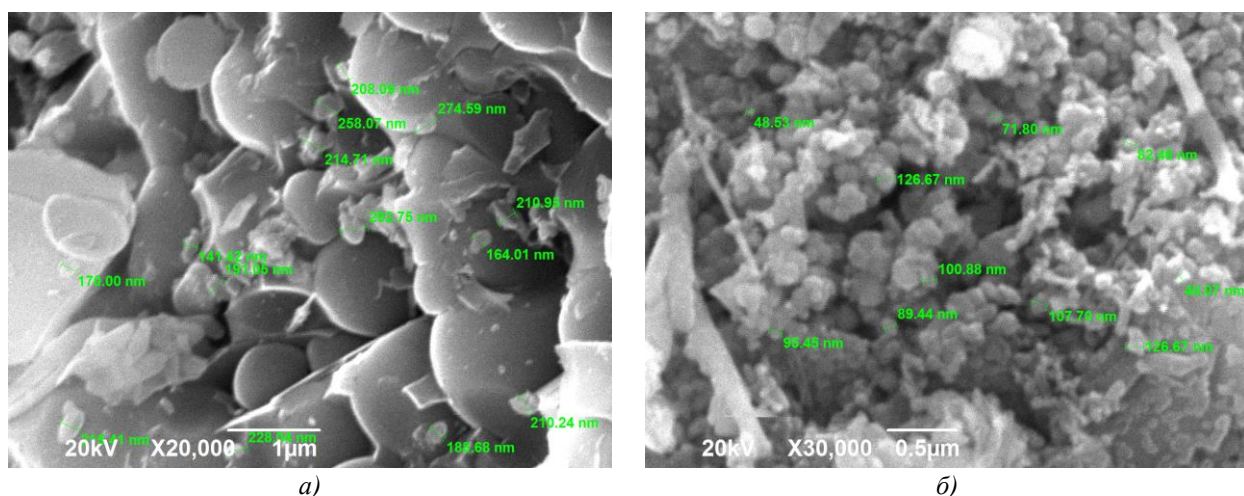


Рис. 1.5 – Микроструктура продуктов горения исходных шихт при различном содержании Al:
а) $z = 16$; б) $z = 18$

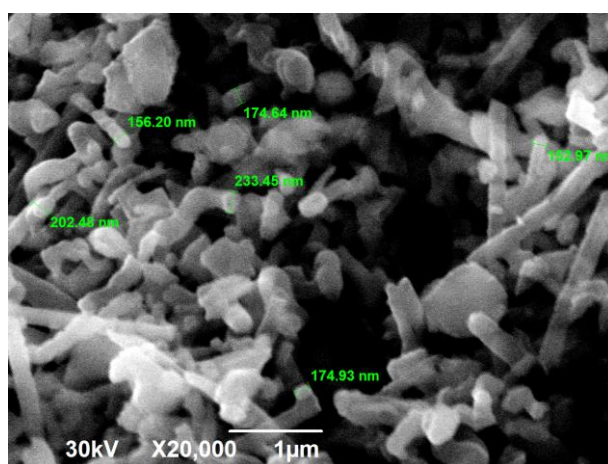


Рис. 1.6 – Микроструктура продуктов горения исходных шихт при различном содержании Al ($z = 20$)

Из рисунка 1 видно, что в отсутствие энергетической добавки Al продукт горения представляет собой агломераты равноосных наночастиц размером около 100 нм. При содержании Al в шихте в количестве 10 молей, продукт горения представляет собой субмикронные частицы сферической формы, диаметром 200-400 нм. При увеличении содержания Al до 20 молей, нитрид алюминия синтезируется в виде субмикронных волокон диаметром 100-300 нм и длиной до 3 мкм.

Заключение

Показано, что порошок AlN синтезируется в наноразмерном виде только в системах «галогенид-азид натрия», то есть в отсутствие энергетической добавки порошка алюминия в исходной смеси порошков. Однако в этом случае промытые продукты горения содержат большое количество (примерно одну треть по массе) водонерастворимой примеси соли Na_3AlF_6 .

Установлено, что при использовании комплексной галоидной соли $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ размер и морфология частиц синтезируемого порошка нитрида алюминия зависят от содержания энергетической добавки порошка Al в смесь « $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6 + 6\text{NaN}_3$ ». В отсутствие энергетической добавки порошка Al продукт горения (AlN – 39,0 масс.%, Na_3AlF_6 – 61,0 масс. %) представляет собой агломераты равноосных наночастиц размером около 100 нм. При содержании Al в шихте в количестве 10 молей, продукт горения (AlN – 80,5 масс.%, Na_3AlF_6 – 19,5 масс. %) представляет собой субмикронные частицы сферической формы, диаметром 200–400 нм. При увеличении содержания Al до 20 молей, нитрид алюминия (AlN – 95,0 масс.%, Na_3AlF_6 – 5,0 масс. %) синтезируется в виде субмикронных волокон диаметром 100–300 нм и длиной до 3 мкм.

Таким образом, показано, что использование галоидной соли $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$ в азидном СВС позволяет получать субмикронный порошок нитрида алюминия чистотой до 95 масс.%, что значительно лучше, чем в случае солей Na_3AlF_6 и K_3AlF_6 (83,5 масс. % и 44,0 масс. %, соответственно).

Благодарности

Авторы выражают благодарность доценту Новикову В.А. за помощь в проведении рентгенофазового и микроструктурного анализов синтезированных композиций.

Acknowledgement

The authors are grateful to associate professor Novikov V.A. for help in conducting out X-ray phase and microstructural analyzes of the synthesized compositions.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Непочатов, Ю. Разработка керамики на основе нитрида алюминия для изделий электронной техники / Ю. Непочатов, А. Земницкая, П. Муль // Современная электроника. – 2011. – № 9. – С. 14–16.
2. Крушенко, Г. Г. Роль частиц нанопорошков при формировании структуры алюминиевых сплавов / Г. Г. Крушенко // Металлургия машиностроения. – 2011. – № 1. – С. 20–24.
3. Иваненко, Е. М. Прогноз отраслевой структуры потребления российского рынка нанопорошков / Е. М. Иваненко // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. – 2013. – № 1(6). – С. 67–72.
4. Хабас, Т. А. Нанопорошки металлов в технологии керамики : Учеб. пособие / Т. А. Хабас. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 230 с.
5. Ремпель, А. А. Нанотехнологии, свойства и применение наноструктурированных материалов / А. А. Ремпель // Успехи химии. – 2007. – № 76(5). – С. 474–500.
6. Ильин, А. П. Синтез нитридосодержащих керамических материалов сжиганием в воздухе смесей нанопорошка алюминия с порошкообразными веществами : Учеб. пособие / А. П. Ильин, Л. О. Толбанова, А. П. Астанкова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 214 с.
7. Ремпель, А. А. Материалы и методы нанотехнологий : Учеб. пособие / А. А. Ремпель, А. А. Валеева. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 136 с.
8. Qing, He. Synthesis of highly sinterable AlN nanopowders through sol-gel route by reduction-nitridation in ammonia / Qing, He, Mingli Qin, Min Huang et al. // Ceramics International. 2019. V. 45. P. 14568–14575.
9. Толбанова, Л. О. Синтез керамических нитрид содержащих материалов сжиганием в воздухе смесей нанопорошка алюминия с нанопорошками W и Mo и порошком Cr.: Дис. ... канд. тех. наук: 05.17.11 / Толбанова Людмила Олеговна. Томск, 2007. – 175 с.
10. Wei Li. Effect of nitriding atmosphere on the morphology of AlN nanofibers from solution blow spinning / Wei Li, Li Ye, Fenghua Chen et al. // Ceramics International. 2021. V. 47. P. 706–715.
11. Da Zhang. High purity and good dispersity AlN nanoparticles synthesized by an arc discharge with assistance of direct nitridation / Da Zhang, Gopalakrishnan Mysamy, Xixian Yang et al. // Ceramics International. 2021. V. 45. P. 6972–16979.
12. Амосов, А. П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов : Учеб. пособие / А. П. Амосов, И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов; Под научной редакцией В. Н. Анциферова. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 567 с.
13. Титова, Ю. В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез наноструктурированного порошка нитрида алюминия с использованием фторида алюминия и азиды натрия / Ю. В. Титова, Л. А. Шиганова, Д. А. Майдан, Г. В. Бичуров // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2012. – С. 25–29.
14. Амосов, А. П. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нанопорошка нитрида алюминия из смеси порошков $\text{Na}_3\text{AlF}_6 + 3\text{NaN}_3 + \text{nAl}$ / А. П. Амосов, Ю. В. Титова, Д. А. Майдан и др. // Журнал Неорганической Химии. – 2016, – № 10. – Т. 61. – С. 1282–1291.
15. Амосов А. П. Азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза микро- и нанопорошков нитридов : А. П. Амосов, Г. В. Бичуров. – М.: Машиностроение-1. – 2007. – 526 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nepchatov, Yu. Razrabotka keramiki na osnove nitrida alyuminiya dlya izdeliy elektronnoy tekhniki [Development of ceramics based on aluminum nitride for electronic products] / Yu. Nepchatov, A. Zemnitskaya, P. Mul' // Sovremennaya elektronika [Modern electronics]. – 2011. – № 9. – P. 14–16. [in Russian]
2. Krushenko, G. G. Rol' chastits nanoporoshkov pri formirovani struktury alyuminievkh splavov [The role of nanopowder particles in the formation of the structure of aluminum alloys] / G. G. Krushenko // Metallurgiya mashinostroeniya [Metallurgy of mechanical engineering]. – 2011. – № 1. – P. 20–24. [in Russian]

3. Ivanenko, E. M. Prognoz otraslevoy struktury potrebleniya rossiyskogo rynka nanoporoshkov [Forecast of the industry structure of consumption of the Russian market of nanopowders] / E. M. Ivanenko // Vestnik KRAUNTS. Fiz.-mat. Nauki] Bulletin of KRAUNTS. Fiz. - mat. Nauki]. – 2013. – № 1(6). – P. 67–72. [in Russian]
4. Khabas, T. A. Nanoporoshki metallov v tekhnologii keramiki [Metal nanopowders in ceramics technology]: Ucheb. posobie / T. A. Khabas. – Tomsk: Publishing house Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2009. – 230 p. [in Russian]
5. Rempel', A. A. Nanotekhnologii, svoystva i primeneniye nanostrukturirovannykh materialov [Nanotechnologies, properties and applications of nanostructured materials] / A. A. Rempel' // Uspekhi khimii [Achievements of chemistry]. – 2007. – № 76(5). – P. 474–500. [in Russian]
6. Il'in, A. P. Sintez nitridosoderzhashchikh keramicheskikh materialov szhiganiem v vozdukh smesey nanoporoshka alyuminiya s poroshkoobraznymi veshchestvami [Synthesis of nitride-containing ceramic materials by burning mixtures of aluminum nanopowder with powdered substances in air]: Ucheb. posobie / A. P. Il'in, L. O. Tolbanova, A. P. Astankova. – Tomsk: Publishing house Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2008. – 214 p. [in Russian]
7. Rempel', A. A. Materialy i metody nanotekhnologii [Materials and methods of nanotechnology]: Ucheb. posobie / A. A. Rempel', A. A. Valeeva. – Ekaterinburg: Publishing house Ural. un-ta, 2015. – 136 p. [in Russian].
8. Qing, He. Synthesis of highly sinterable AlN nanopowders through sol-gel route by reduction-nitridation in ammonia / Qing, He, Mingli Qin, Min Huang et al. // Ceramics International. 2019. V. 45. P. 14568–14575.
9. Tolbanova, L. O. Sintez keramicheskikh nitrid sodержashchikh materialov szhiganiem v vozdukh smesey nanoporoshka alyuminiya s nanoporoshkami W i Mo i poroshkom Cr [Synthesis of ceramic nitride-containing materials by burning mixtures of aluminum Nanopowder with W and Mo nanopowders and Cr powder in air].: Dis. ... of PhD in Engineering : 05.17.11 / Tolbanova Lyudmila Olegovna. – Tomsk, 2007. – 175 p. [in Russian].
10. Wei Li. Effect of nitriding atmosphere on the morphology of AlN nanofibers from solution blow spinning / Wei Li, Li Ye, Fenghua Chen et al. // Ceramics International. 2021. V. 47. P. 706–715.
11. Da Zhang. High purity and good dispersity AlN nanoparticles synthesized by an arc discharge with assistance of direct nitridation / Da Zhang, Gopalakrishnan Mysamy, Xixian Yang et al. // Ceramics International. 2021. V. 45. P. 6972–16979.
12. Amosov, A. P. Poroshkovaya tekhnologiya samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza materialov [Powder technology of self-propagating high-temperature synthesis of materials]: Ucheb. posobie / A. P. Amosov, I. P. Borovinskaya, A. G. Merzhanov; ed. V. N. Antsiferova. – M.: Mashinostroenie-1, 2007. – 567 p. [in Russian]
13. Titova, Yu. V. Samorasprostranyayushchiysya vysokotemperaturnyy sintez nanostrukturirovannogo poroshka nitrida alyuminiya s ispol'zovaniem florida alyuminiya i azida natriya [Self-propagating high-temperature Synthesis of Nanostructured Aluminum Nitride Powder using Aluminum Fluoride and Sodium Azide] / Yu. V. Titova, L. A. Shiganova, D. A. Maydan, G. V. Bichurov // Izvestiya vyshikh uchebnykh zavedeniy. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya [News of higher educational institutions. Powder metallurgy and functional coatings]. – 2012. – P. 25-29. [in Russian]
14. Amosov, A. P. Samorasprostranyayushchiysya vysokotemperaturnyy sintez nanoporoshka nitrida alyuminiya iz smesi poroshkov $\text{Na}_3\text{AlF}_6 + 3\text{NaN}_3 + \text{nAl}$ [Self-propagating high-temperature synthesis of aluminum nitride nanopowder from a mixture of $\text{Na}_3\text{AlF}_6 + 3\text{NaN}_3 + \text{nAl}$ powders] / A. P. Amosov, Yu. V. Titova, D. A. Maydan et al. // Zhurnal Neorganicheskoy Khimii [Journal of Inorganic Chemistry]. – 2016, – № 10. – Vol. 61. – P. 1282–1291. [in Russian]
15. Amosov A. P. Azidnaya tekhnologiya samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza mikro- i nanoporoshkov nitridov [Azide technology of self-propagating high-temperature synthesis of micro- and nanopowders of nitrides]: A. P. Amosov, G. V. Bichurov. – M.: Mashinostroenie-1 [Mechanical Engineering-1]. – 2007. – 526 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.006>**УСЛОВИЯ МЕСТПРОИЗРАСТАНИЯ КРАСНОКНИЖНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ
В ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ АЛТАЕ-САЯНСКОГО ЭКОРЕГИОНА**

Научная статья

Андропова А.А.^{1,*}, Вайс А.А.², Калачев В.А.³, Ануев Е.А.⁴¹ ORCID: 0000-0003-4965-3670;² ORCID: 0000-0003-4965-3670;³ ORCID: 0000-0003-4965-3670;⁴ ORCID: 0000-0003-4965-3670;^{1, 2, 3, 4} Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева,
Красноярск, Россия

* Корреспондирующий автор (economics25192715[at]gmail.com)

Аннотация

Лесоводственной основой отражения связи леса и окружающей среды является лесная типология. Целью исследований являлось установление условий местопроизрастания краснокнижных видов модальной территории (Балыксинского лесничества республики Хакассия) Алтае-Саянского экорегиона на основе таксационных данных материалов лесоустройства. В результате изучения Красной книги растений республики Хакассия выявлено 4 вида, которые могут встречаться в пихтовых насаждениях. Подобраны конкретные выдела, в которых могут произрастать растения. Предложены описания условий местопроизрастания краснокнижных видов для последующего включения лесных участков в ОЗУ или ключевые биотопы. Полученные результаты позволят по материалам лесоустройства и условиям местопроизрастания выделять конкретные лесные участки с потенциальными условиями произрастания краснокнижных видов.

Ключевые слова: пихтовое насаждение, редкий вид, условия местопроизрастания.**CONDITIONS OF THE PLACES OF GROWTH OF CRITICALLY ENDANGERED PLANT SPECIES
IN FIR PLANTATIONS OF THE ALTAI-SAYAN ECOREGION**

Research article

Andronova A.A.^{1,*}, Vais A.A.², Kalachev V.A.³, Anuev E.A.⁴¹ ORCID: 0000-0003-4965-3670;² ORCID: 0000-0003-4965-3670;³ ORCID: 0000-0003-4965-3670;⁴ ORCID: 0000-0003-4965-3670;^{1, 2, 3, 4} Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

* Corresponding author (economics25192715[at]gmail.com)

Abstract

The forestry basis for reflecting the connection between the forest and the environment is the forest typology. The purpose of the research was to establish the conditions for the growth of critically endangered species of the modal territory (Balyksa forestry of the Republic of Khakassia) of the Altai-Sayan ecoregion on the basis of survey data of forest management materials. As a result of studying the Red List of Plants of the Republic of Khakassia, the article identifies 4 species that can occur in fir plantations while also selecting the specific allotments, in which the plants can grow. The descriptions of the conditions of the Red List species' habitat for the subsequent inclusion of forest areas in the designated areas or key biotopes are proposed. The results obtained will allow for identifying specific forest areas with potential conditions for the growth of Red List species based on the materials of forest management and the conditions of their habitat.

Keywords: fir plantation, rare species, growing conditions.**Введение**

В настоящее время в окружающей среде наблюдается ряд процессов, которые необходимо мониторить и превентивно реагировать. К таким явлениям можно отнести изменение климата, уменьшение устойчивости насаждений и снижение биоразнообразия.

Лесоводственной основой отражения связи леса и окружающей среды является лесная типология. В условиях происходящих процессов необходимо развивать зонально-типологический принцип при ведении лесного хозяйства [1]. Е.С. Мигунова отмечает, что в настоящее время изучение сопряженной взаимосвязи лесных сообществ, климата и почвогрунтов требует дополнительного анализа и развития. Особую роль, по мнению автора, приобретают лимитированные ресурсы среды [2].

Типология в той или иной мере является основой оценки биоразнообразия лесных экосистем [3]. По мнению О.В. Смирновой, Л.Б. Заугольной, В.Н. Короткова [4] теоретической основой изучения лесного покрова является концепция синэкологии. М.В. Бобровский, Л.Г. Ханина [5] предложили метод оценки разнообразия лесной растительности на основе лесотаксационных материалов. А.М. Данченко, И.А. Бех [6] на основе ландшафтно-типологического анализа установили возрастание разнообразия типов леса по мере продвижения с севера на юг.

Оценка наличия редких и исчезающих видов на различных территориях приобретает в настоящее время особое значение [7], [8], [9], [10]. А.П. Кожевников, О.Ю. Стадниченко [11] отмечают, что информация о составе и плотности популяций редких видов позволит разработать природоохранную стратегию для лесного хозяйства.

Методы и принципы исследования

Целью исследований являлось установление условий местопроизрастания краснокнижных видов модальной территории (Балыксинского лесничества республики Хакассия) Алтае-Саянского экорегиона на основе таксационных данных материалов лесоустройства. Для выполнения данной бакалаврской работы использовались материалы таксационных описаний Балыксинского лесничества Республики Хакассия. В результате отобраны 542 участка пихтовых насаждений следующих типов леса: пихтач борцовый, пихтач гераневый, пихтач зеленомошниковый, пихтач кисличный, пихтач крупнотравно-папоротниковый, пихтач осочково-сфагновый, пихтач среднегорный и пихтач хвощево-осочковый. Каждый участок характеризовался по таким показателям как состав, тип условий произрастания, тип леса, полнота, возраст, доля пихты в составе, почва, напочвенный покров, положение, крутизна склона и экспозиция склона.

Данное исследование проводилось для определения и описания условий для последующего включения лесных участков в ОЗУ или ключевые биотопы, направленных на сохранение и увеличение численности редких и исчезающих видов.

Основные результаты

В результате изучения Красной книги растений Республики Хакассия выявлено 4 вида, которые могут встречаться на территории Балыксинского лесничества [12]. Каждому из этих видов присвоен статус и описаны особенности экологии и фитоценологии (таблица).

На основании анализа материалов лесоустройства и Красной книге Хакассии выявлены условия местопроизрастания краснокнижных видов модальной территории.

Кандык сибирский (лат. *Erythronium sibiricum*) предположительно может встречаться в гераневом типе леса пихтовых насаждений Балыксинского лесничества Республики Хакассия. Такой вывод можно сделать исходя из того, что в гераневом типе леса в напочвенном покрове преобладает герань лесная. Герань лесная (лат. *Geranium sylvaticum*) растёт на довольно богатых увлажнённых почвах, идентичные условия требуются для произрастания и распространения кандыка сибирского.

Таблица 1 – Редкие виды растений, произрастающие на территории Балыксинского лесничества Республики Хакассия

Название	Статус	Особенности экологии и фитоценологии
Кандык сибирский (лат. <i>Erythronium sibiricum</i>)	Редкий вид	Встречается он только в пределах Южной Сибири. Эфемероид, мезофит, растет в темнохвойных и смешанных лесах, встречается в черенной тайге, при этом поднимается в горы до 2800 м. Растет на незадернованных влажных почвах. В период цветения бывают снегопады и ночные заморозки. При этом растения подвергаются относительно низким температурам и их переносят без каких-либо повреждений. Предпочитает прохладные и светлые места, почвы, богатые питательными веществами, структурные, умеренно влажные.
Венерин башмачок капельный, пятнистый (лат. <i>Cypripedium guttatum</i> Sw.)	Редкий вид	Мезофитное лесное растение, предпочитает места со средним увлажнением. Вид морозостоек, способен переносить очень суровые зимы. Произрастает на открытых или полуоткрытых пространствах, в светлых и тенистых лесах. Башмачок капельный растет в хвойных и смешанных лесах, в бруснично-разнотравных сосновых и лиственных лесах, на лесных полянах, в дубовых лесах с кленом. На вырубках и лугах, образовавшихся на месте вырубков. Тяготеет к более теплым районам и широким речным долинам.
Пальцекорник Руссова (лат. <i>Dactylorhiza russowii</i>)	Вид, находящийся под угрозой исчезновения	Мезогигрофит. Обитает около ручьёв, на сфагновых болотах, разнотравных лугах.
Тукнерария Лаурер (лат. <i>Tuckneraria laureri</i>)	Редкий, спорадически встречающийся вид	Мезофит, растет на коре деревьев, реже — на замшелых скалах, преимущественно во влажных горных темнохвойных лесах.

Венерин башмачок капельный, пятнистый (лат. *Cypripedium guttatum* Sw.) предположительно может встречаться в среднегорном типе леса пихтовых насаждений Балыксинского лесничества Республики Хакассия. Так как в среднегорном типе леса преобладает осока лесная (лат. *Carex silvatica*), а это растение растет как на относительно бедных почвах, так и на богатых минеральными веществами. Так же осока лесная, исходя из таксационного описания лесничества, предпочитает южные склоны. На южных склонах после гари так же есть большая вероятность встретить венерин башмачок капельный, так как в таких местах наблюдается наиболее высокие тепловые потоки в почве. Исходя из этих данных, можно предположить, что в схожих условиях может встречаться такое редкое растение как венерин башмачок капельный, пятнистый.

Пальцекорник Руссова (лат. *Dactylorhiza russowii*) предположительно может встречаться в борцовом типе леса пихтовых насаждений Балыксинского лесничества Республики Хакассия вблизи рек и ручьев. Для борцового типа леса основным покров, является такое растение как борец (лат. *Aconitum*), данное растение предпочитает произрастать на

влажных местах вдоль рек, ручьев и обочин дорог. Схожие экологические требования присутствуют у пальцеборника Русова.

Тукнерария Лаурер (лат. *Tuckneraria laureri*) может произрастать в любом типе леса пихтовых насаждений Балыксинского лесничества, так как основным фактором, определяющим его место обитания, служит не почва и покров, а сама древесная порода. В Балыксинском лесничестве предположительно больше вероятность встретить в зеленомошном типе, а именно в дальних горных районах с высокой влажностью.

На основе полученных результатов отобраны конкретные кварталы и выдел Балыксинского лесничества, соответствующие по своим описаниям участкам на которых могут произрастать редкие краснокнижные растения республики Хакасия.

1. Кандык сибирский (лат. *Erythronium sibiricum*).

Первый участок на котором предположительно может произрастать данное краснокнижное растение находится в Шорском участковом лесничестве Балыксинского лесничества в квартале №57 выделе №53. Данный выдел характеризуется следующим составом – 4П6Бед.Е,К,Ос. Пихта на участке относится к средневозрастным насаждениям и соответственно средней полнотой – 0,5, следовательно, на участке находятся освещенные участки, именно это является одним из критериев для произрастания кандыка сибирского. На выделе наблюдается благонадежный подрост пихты возрастом 20 лет. Покров представлен геранью, зелеными мхами и крупнотравьем. Почва на участке суглинистая влажная, что соответствует требованиям для кандыка сибирского. Так же участок расположен со стороны северного склона и крутизной 5°, что не является отрицательным показателем, для произрастания кандыка сибирского, так как это растение любит прохладные места и благополучно переносит заморозки. Второй участок находится в Верхнетомском участковом лесничестве Балыксинского лесничества в квартале №78, выделе №45. Участок имеет площадь 14 га. Второй участок имеет практически идентичные условия, что и участок первый. Состав на участке представлен 4П5Б1К. Пихта на участке относится к средневозрастным насаждениям и соответственно средней полнотой – 0,5. На выделе произрастает благонадежный подрост пихты возрастом 20 лет. Покров представлен геранью, вейником и зелеными мхами. Почва на участке суглинистая влажная, местами мокрая. Так же участок расположен на нижней части восточного склона и крутизной 5°.

2. Венерин башмачок капельный, пятнистый (лат. *Cypripedium guttatum* Sw.).

Для данного растения был подобран только один участок, где предположительно может произрастать этот вид растения. Участок расположен в Шорском участковом лесничестве Балыксинского лесничества в квартале №74 выделе №22. Участок имеет площадь 13 га. Данный выдел характеризуется следующим составом – 8П2КедОс,Б. Пихта на участке относится к спелым насаждениям с полнотой – 0,6, следовательно на участке есть как тенистые участки так и местами светлые, что и необходимо для данного растения. На выделе наблюдается благонадежный подрост пихты 80% и 20% кедра возрастом 10-40 лет. Покров представлен осочкой, папоротником, геранью и зелеными мхами. Почва на участке дерново-подзолистая суглинистая влажная, что соответствует требованиям для венериного башмачка капельного. Венерин башмачок капельный тяготеет к более теплым районам, а данный участок имеет расположение на юго-восточном склоне и крутизной 6°.

3. Пальцеборник Русова (лат. *Dactylorhiza russowii*).

Для пальцеборника Русова выбирались участки с борцовым типом леса в районах рек и ручьев. Первый участок находится в Верхнетомском участковом лесничестве Балыксинского лесничества в квартале №72, выделе №27. Участок имеет площадь всего 2 га. Данный участок имеет состав, представленный всего 30% пихты, 10% кедра и 60%. Пихта на участке относится к приспевающим насаждениям и имеет полноту – 0,6. На выделе наблюдается благонадежный, равномерный по размещению подрост пихты, кедра и березы возрастом 10-30 лет. Покров представлен борцом, осочкой и хвощем. Почва на участке суглинистая сырая, так как участок находится в долине ручья, в похожих условиях и можно встретить данное краснокнижное растение. Второй участок расположен в Верхнетомском участковом лесничестве Балыксинского лесничества в квартале №83, выделе №86. Участок имеет площадь всего 5 га. Данный выдел характеризуется следующим составом – 5П1К4Б+П, К. Пихта на участке относится к спелым насаждениям с полнотой – 0,5. На выделе наблюдается благонадежный, равномерный подрост пихты 60%, 20% кедра и 20% ели возрастом 20 лет. Покров представлен осочкой и зелеными мхами. Почва на участке суглинистая сырая, так как участок имеет положение в пойме реки Тузукса, именно это и является основным требованием для пальцеборника Русова.

4. Тукнерария Лаурер (лат. *Tuckneraria laureri*).

Для данного вида главным критерием не является почва как для других краснокнижных растений, так как этот гриб произрастает на темнохвойных породах или скалистых образованиях. Так же данный тип практически невозможно встретить, потому что он предпочитает девственные леса, которые сложно проходимы для человека, но есть очень малая вероятность, что данный вид может быть обнаружен в отдаленных горных участках с крутизной склона 20-40°, таким условиям отвечают следующие выбранные участки: квартал №72, выдел №20 Шорского участкового лесничества Балыксинского лесничества, данный участок имеет площадь 23 га горного леса с крутизной склона 25°; квартал №72, выдел №34, Шорского участкового лесничества Балыксинского лесничества, данный участок имеет площадь 18 га горного леса с крутизной склона 35°.

После проведенного подбора конкретных выделов следует провести повторное полевое обследование каждого участка Балыксинского лесничества Республики Хакасия для обнаружения редких видов растений, при обнаружении на участке данных видов, рекомендуется перевести их в категорию особо защитных, для сохранения и дальнейшего увеличения популяции этих растений.

Заключение

В результате изучения Красной книги растений республики Хакасия выявлено 4 вида, которые могут встречаться в пихтовых насаждениях на модальной территории Алтае-Саянского экорегиона. Подобраны конкретные выделы, в которых могут произрастать растения. Предложены описания условий местопроизрастания краснокнижных видов для последующего включения лесных участков в ОЗУ или ключевые биотопы.

Полученные результаты позволят по материалам лесоустройства и условиям местопроизрастания выделять конкретные лесные участки с потенциальными условиями произрастания краснокнижных видов в пихтовых насаждениях Алтае-Саянского экорегиона.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мигунова Е.С. Лесная типология Г.Ф. Морозова – А.А. Крюденера – П.С. Погребняка – теоретическая основа лесоводства / Е.С. Мигунова // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2017. - Т.21. - № 5. - С. 52-63.
2. Мигунова Е.С. Лесная типология и ботаника. Экологическая оценка факторов природной среды / Е.С. Мигунова // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2020. - Т.24. - № 4. - С. 65-81.
3. Рысин Л.П. Биологическое разнообразие и лесная типология / Л.П. Рысин, Л.И. Савельева // Гео-Сибирь. – 2011. – т.3. - № 2. – с. 31-39.
4. Смирнова О.В. Теоретические основы оптимизации функции биоразнообразия лесного покрова / О.В. Смирнова, Л.Б. Заугольнова, В.Н. Коротков // Лесоведение. – 2015. № 5. – с. 367-378.
5. Бобровский М.В. Количественная оценка разнообразия лесной растительности по лесотаксационным данным / М.В. Бобровский, Л.Г. Ханин // Лесоведение. – 2004. - №3. – с. 28-34.
6. Данченко А.М. Оценка типологического разнообразия лесных экосистем на основе данных таксации и ландшафтно-типологического анализа модельных территорий / А.М. Данченко, И.А. Бех // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2009. - № 2 (6). – с. 70-74.
7. Васюхина Е.А. К изучению флоры памятников природы Красноармейского района Самарской области / Е.А. Васюхина, Т.И. Плаксина // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского государственного университета. – 2016. - №1(8). – с. 30-38.
8. Полякова М.А. Эколого-ценотические особенности распространения редких видов степных сообществ Хакасии / М.А. Полякова // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина. – 2013. – т. 11. - № 1. – с. 68-74.
9. Пыстина Т.Н. Ключевые местообитания редких и охраняемых видов в среднетаежных лесах республики Коми / Т.Н. Пыстина, Г.В. Железнова, А.А. Колесникова и др. // Лесоведение. – 2010. - №1. – с. 3-11.
10. Тимченко Н.А. Редкие виды древесно-кустарниковых пород в антропогенных экотопах / Н.А. Тимченко, В.М. Старченко, Л.М. Павлова // Комплексное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. – Благовещенск, 2011. – с. 51-58.
11. Кожевников А.П. Индикаторные виды живого напочвенного покрова лесных насаждений с участием представителей семейства орхидные в некоторых типах леса на Среднем Урале / А.П. Кожевников, О.Ю. Стадниченко // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - №1-1. – с. 1687.
12. Анкипович Е.С. Красная книга Республики Хакасия: редкие и исчезающие виды растений и грибов / Е.С. Анкипович, Д.Н. Шауло, Н.В. Седельникова и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Наука, 2012. – 288 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Migunova E. S. . Lesnaja tipologija G.F. Morozova – A.A. Krjudenera – P.S. Pogrebnjaka – teoreticheskaja osnova lesovodstva [Forest typology of G. F. Morozov-A. A. Kryudener – P. S. Pogrebnjak-the theoretical basis of forestry] / E. S. Migunova // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin [Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin]. 2017. - Vol. 21. - No. 5. - pp. 52-63. [in Russian]
2. Migunova E. S. Lesnaja tipologija i botanika. Jekologicheskaja ocenka faktorov prirodnoj sredy [Forest typology and botany. Ecological assessment of environmental factors] / E. S. Migunova // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin [Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin]. 2020. - Vol. 24. - No. 4. - pp. 65-81. [in Russian]
3. Rysin L. P. Biologicheskoe raznoobrazie i lesnaja tipologija [Biological diversity and forest typology] / L. P. Rysin, L. I. Savelyeva // Geo-Sibir' [Geo-Siberia]. - 2011. - vol. 3. - No. 2. - pp. 31-39. [in Russian]
4. Smirnova O. V. Teoreticheskie osnovy optimizacii funkicii bioraznoobrazija lesnogo pokrova [Theoretical bases of optimization of the function of forest cover biodiversity] / O. V. Smirnova, L. B. Zauginova, V. N. Korotkov // Lesovedenie [Forest Science]. - 2015. No. 5. - pp. 367-378. [in Russian]
5. Bobrovsky M. V. Kolichestvennaja ocenka raznoobrazija lesnoj rastitel'nosti po lesotaksacionnym dannym [Quantitative assessment of the diversity of forest vegetation according to forest taxational data] / M. V. Bobrovsky, L. G. Khanin // Lesovedenie [Forest Science]. - 2004. - No. 3. - pp. 28-34. [in Russian]
6. Danchenko A.M. Ocenka tipologicheskogo raznoobrazija lesnyh jekosistem na osnove dannyh taksacii i landshaftno-tipologicheskogo analiza model'nyh territorij [Assessment of the typological diversity of forest ecosystems based on the data of taxation and landscape-typological analysis of model territories] / A.M. Danchenko, I. A. Bekh // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologija [Bulletin of the Tomsk State University. Biology]. – 2009. - № 2 (6). – pp. 70-74. [in Russian]
7. Vasyukhina E. A. K izucheniju flory pamjatnikov prirody Krasnoarmejskogo rajona Samarskoj oblasti [To the study of the flora of natural monuments of the Krasnoarmeysky district of the Samara region] / E. A. Vasyukhina, T. I. Plaksina // Vestnik molodyh uchenykh i specialistov Samarskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Young Scientists and specialists of Samara State University]. – 2016. - №1(8). – pp. 30-38. [in Russian]
8. Polyakova M. A. Jekologo-cenoticheskie osobennosti rasprostraneniya redkih vidov stepnykh soobshhestv Hakassii [Ecological and cenotic features of the distribution of rare species of steppe communities of Khakassia] / M. A. Polyakova // Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Biologija, klinicheskaja medicina [Bulletin of the Novosibirsk State University. Series: Biology, clinical medicine]. - 2013. - vol. 11. - No. 1. - pp. 68-74. [in Russian]

9. Pystina T. N. Kljuchevye mestoobitanija redkih i ohranjaemyh vidov v srednetaezhnyh lesah respubliky Komi [Key habitats of rare and protected species in the middle taiga forests of the Komi Republic] / T. N. Pystina, G. V. Zheleznova, A. A. Kolesnikova et al. // Lesovedenie [Forest science]. - 2010. - No. 1. - p. 3-11. [in Russian]
10. Timchenko N. And. Redkie vidy drevesno-kustarnikovyykh porod v antropogennykh yekotopakh [Rare species of trees and shrub species in anthropogenic ecotopes] / N. And. Timchenko, V. M. Starchenko, L. M. Pavlova // Kompleksnoe ispol'zovanie prirodnnykh resursov: sb. nauch. tr [Comprehensive use of natural resources: SB. nauch. Tr]. – Blagoveshchensk, 2011. – p. 51-58. [in Russian]
11. Kozhevnikov A. P. Indikatornyye vidy zhivogo napochvennogo pokrova lesnykh nasazhdeniy s uchastiem predstaviteley semeystva orhidnykh v nekotorykh tipakh lesa na Srednem Urale [Indicator species living ground vegetation of forests with the participation of representatives of the Orchid family in some forest types in the middle Urals] / P. A. Kozhevnikov, O. Yu. Stadnichenko // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. - 2015. - No. 1-1 – p. 1687. [in Russian]
12. Ankipovich E. S. Krasnaya kniga Respubliki Hakasija: redkie i ischezajushhie vidy rastenij i gribov [Red Book of the Republic of Khakassia: rare and endangered species of plants and fungi] / E. S. Ankipovich, D. N. Shaulo, N. V. Sedelnikova et al – 2nd ed., reprint. and additional – Novosibirsk: Nauka, 2012. - 288 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.007>

УВЕЛИЧЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОЛЕЗНЫХ НАСЕКОМЫХ В АГРОЛАНДШАФТАХ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА

Научная статья

Комарова О.П.*

ORCID: 0000-0001-9129-6932,

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Волгоград, Россия

* Корреспондирующий автор (komarova62[at]rambler.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены некоторые аспекты биологизации защиты растений как ведущего направления в развитии мировой зеленой экономики. Представлены направления увеличения численности полезных насекомых в рамках биологической защиты растений как одного из важнейших аспектов для снижения пестицидной нагрузки на агроценозы. Для увеличения биоразнообразия и численности в агроценозах полезных видов энтомофауны, обеспечивающих стабилизацию и возможность саморегуляции энтомокомплексов, рекомендовано сокращение химических обработок посевов путем перехода от сплошных обработок поля к локальным, точечным, применение краевых обработок, селективных препаратов. Показано, что наличие в структуре севооборотов многолетних трав приводит к оптимизации соотношения численности фито- и энтомофагов в севообороте за счет активных миграций полезной энтомофауны. Представлены результаты полевых исследований по повышению относительной численности энтомофагов и паразитических насекомых в севооборотах с наличием многолетних трав в сравнении с севооборотами с участием только пропашных культур. Подчеркнута важность создания энтомологических заказников для повышения потенциала энтомофагов, паразитических насекомых и опылителей.

Ключевые слова: биометод, биоразнообразие, полезная энтомофауна, агроландшафты.

INCREASING THE NUMBER OF BENEFICIAL INSECTS IN AGRICULTURAL LANDSCAPES AS ONE OF THE DIRECTIONS OF THE BIOLOGICAL METHOD

Research article

Komarova O.P.*

ORCID: 0000-0001-9129-6932,

All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, Russia

* Corresponding author (komarova62[at]rambler.ru)

Abstract

The article discusses some aspects of plant protection biologization as a leading trajectory in the development of the global green economy. The article presents the trajectories of increasing the number of beneficial insects in the framework of biological plant protection as one of the most important aspects for reducing the pesticide load on farming ecosystems. To increase the biodiversity and abundance of beneficial species of entomofauna in farming ecosystems that provide stabilization and the possibility of self-regulation of entomocomplexes, it is recommended to reduce chemical treatments of crops by switching from continuous field treatments to local, point-based as well as the use of edge treatments, selective preparations. It is shown that the difference in the structure of crop rotations of perennial grasses leads to optimization of the ratio of the number of phyto- and entomophages in crop rotation due to active migrations of beneficial entomofauna. The article presents the results of field studies on increasing the relative abundance of entomophages and parasitic insects in crop rotations with the presence of perennial grasses in comparison with crop rotations involving only row crops. The author highlights the importance of creating entomological sanctuaries to increase the potential of entomophages, parasitic insects, and pollinators.

Keywords: biomethod, biodiversity, useful entomofauna, agricultural landscapes.

Введение

Одним из ведущих направлений развития зеленой экономики в сельском хозяйстве является расширение использования нехимических способов защиты растений с целью снижения пестицидной нагрузки на агроценозы [1]. Сокращение разрешающих возможностей пестицидов и загрязнение природной среды обусловили повышенное внимание к поиску альтернативных средств и приемов, сохраняющих естественных регуляторов численности вредителей. Причем немаловажным является использование биологических средств защиты растений с учетом почвенных, климатических особенностей региона, а также сельскохозяйственной специализации хозяйств [2], [3]. Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации создание и применение биологических средств защиты растений отнесено к приоритетным направлениям развития науки [4].

Регулирование фитосанитарной обстановки в агроландшафтах за счет использования биологических агентов служит обоснованной альтернативой химическому методу. Только в сбалансированных аграрных ландшафтах при условии проведения целенаправленных мероприятий по активизации природных популяций полезной биоты и наращиванию объемов применения оптимального ассортимента биопрепаратов возможно в наиболее полной степени обеспечение долговременной саморегуляции энтомоценозов.

Методы и принципы исследования

Изучение видового состава, структуры энтомокомплексов в агроландшафтах проводили в 1988-2020 гг. в ФГУП «Орошаемое» (Волгоград) в фитоярусе, напочвенном и почвенном ярусах с использованием методов кошения энтомологическим сачком, учета почвенными ловушками и раскопок по общепринятым и усовершенствованным методикам [5], [6]. Учеты проводили еженедельно в течение вегетационного сезона.

Основные результаты и обсуждение.

В практике защиты сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней наибольшее значение получили следующие направления биологического метода: использование искусственно размноженных хищных и паразитических насекомых (энтомофагов), хищных клещей (акарифагов), микроорганизмов, нематод, птиц, млекопитающих и др. для подавления или снижения численности вредных организмов.

Одним из ведущих направлений биологической защиты растений и практического воплощения зеленой экономики является охрана и использование местных энтомофагов. Принципиально важно, чтобы при проектировании и осуществлении биоценотического управления были максимально полно задействованы природные механизмы контроля за численностью вредных насекомых, среди которых велико значение паразитов, хищников, микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности.

Для максимального сохранения и увеличения численности популяций полезных видов энтомофауны агроценоза и для уменьшения загрязнения окружающей среды считаем в первую очередь необходимым изменение тактики активной борьбы с вредителями путем перехода от сплошных обработок поля к локальным, точечным. Это связано с особенностями пространственной дифференциации вредных и полезных организмов по ширине поля. Известно, что вредители концентрируются в основном по краям полей (так называемый краевой эффект), в связи с этим актуальны обработки краевых полос полей агроценозов на расстояние 0-80 м [7]. При этом следует соблюдать оптимальные сроки и кратность обработок инсектицидами, наименее вредными для энтомофагов и токсичными для фитофагов; применять селективные препараты [8].

Оценивая сравнительное значение различных биотопов, прилегающих к полям, в том числе и лесополос как возможных источников увеличения численности многоядных напочвенных энтомофагов (жужелицы, стафилиныды) за счет миграций, следует отметить, что сравнительная численность этих энтомофагов значительно ниже, чем на обрабатываемых землях. Учитывая их малую по сравнению с пашней площадь, нельзя считать возможной миграцию из них значительного числа особей энтомофагов. Такие элементы агроландшафта могут служить для полевых напочвенных энтомофагов местами зимовки и размножения [9], но не способны существенно увеличить их обилие за счет миграций.

Эффективными источниками миграций многоядных энтомофагов напочвенного яруса (Carabidae) на поля служат посевы многолетних трав. На полях многолетних трав складываются более комфортные условия для обитания полезных герпетобийных насекомых за счет оптимизации микроклимата и отсутствия ежегодных агротехнических мероприятий, таких как вспашка, посев, культивации и др. На полях, граничащих с люцерной, козлятником, клевером и др. значительно увеличивается относительная численность этих полезных насекомых [10].

Наши исследования показали, что для увеличения численности, равномерного распределения этих энтомофагов на обрабатываемых землях необходимо наличие в структуре севооборота посевов многолетних трав, которые должны располагаться вблизи участков с наибольшей антропогенной нагрузкой. В севообороте доля многолетних трав должна составлять от 20 до 60 % [8]. Нами проведены исследования по оценке севооборотов с различным насыщением многолетними травами с точки зрения накопления полезных видов насекомых. Анализ среднесезонной динамики численности основных групп насекомых за 1988-2020 гг. показывает, что среднесезонное обилие полезных насекомых в севообороте с насыщением многолетними травами значительно (в 2,45-2,71 раза) превышает численность таковых в севообороте с наличием только пропашных культур (см. рисунок 1, 2). Соотношение численности полезных и вредных видов энтомофауны составляет здесь 1 : 4,6 – 1 : 6,6, что, по данным А.Т. Демчук и др. [11], позволяет считать возможным саморегулирование энтомокомплекса.

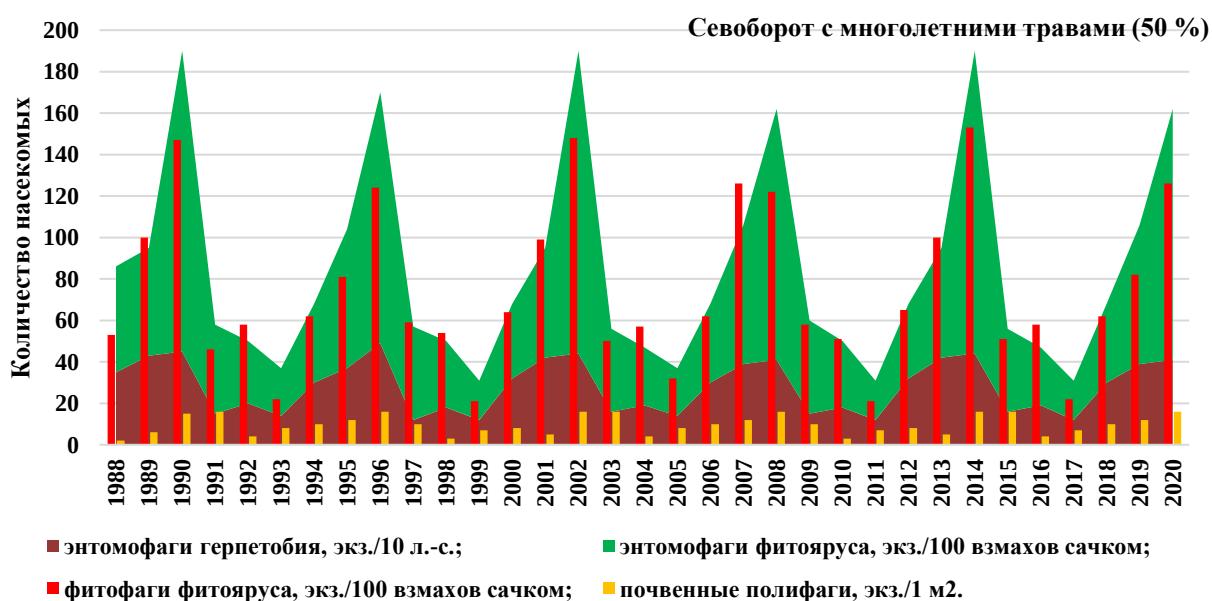


Рис. 1 – Динамика численности основных трофических групп насекомых в орошаемых полевых севооборотах ФГУП «Орошаемое», 1988-2020 гг.

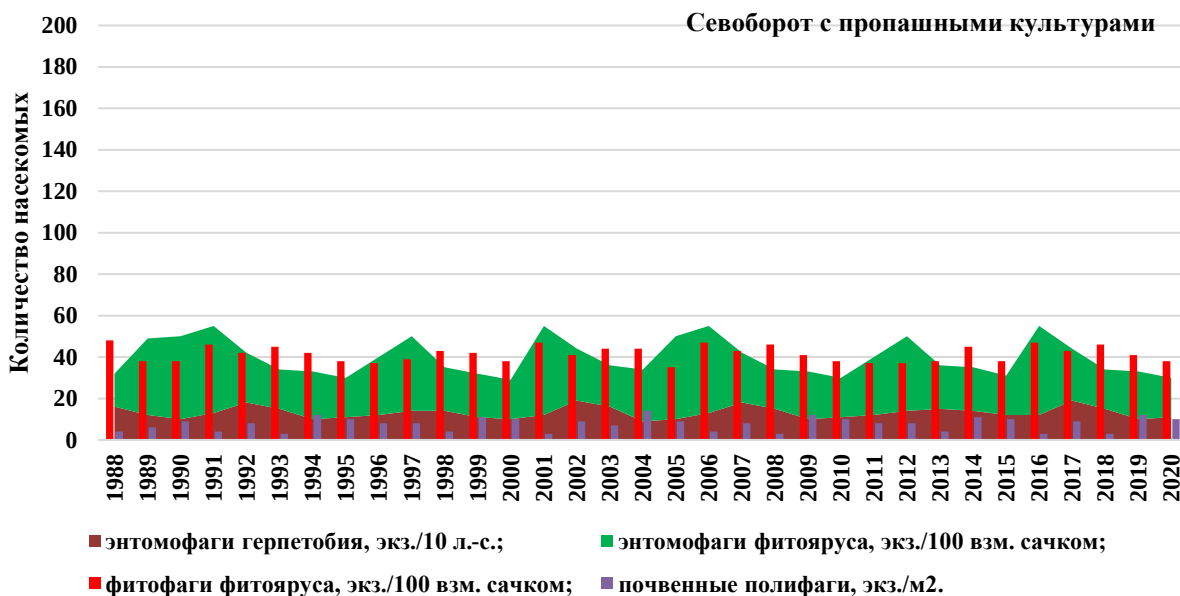


Рис. 2 – Динамика численности основных трофических групп насекомых в орошаемых полевых севооборотах ФГУП «Орошаемое», 1988-2020 гг.

К числу важнейших агромероприятий, содействующих максимальному сохранению биоразнообразия, активизации естественных механизмов функционирования и долгосрочной биоценотической регуляции относятся рациональное землепользование и адаптивная структура посевных площадей. Сохранение необрабатываемых угодий с естественной растительностью, применение севооборотов с использованием комплексно устойчивых сортов и ряд других приемов обеспечивают формирование биоразнообразия, многоцелевую тактику использования природных ресурсов, энергоэкономичность и рост продуктивности агроландшафтов. Переход к длинноротационным севооборотам с оптимальным чередованием сельскохозяйственных культур создает условия для поддержания экологического равновесия и снижения химико-техногенного пресса за счет подбора культур-азотонакопителей, структурообразователей и других, замены минеральных удобрений на органические, органоминеральные, почвоудобрительные препараты, применения беспестицидных приемов и технологий защиты растений.

Для региона Нижнего Поволжья формированию среды для сохранения биоразнообразия, повышения биотического потенциала природных популяций полезных организмов, в т.ч. энтомофагов и опылителей, способствует создание микрозаказников из расчета 2 га на 100 га агролесоландшафта. Это достигается путем организации в лесных полосах участков с ежегодно обильно цветущими деревьями и кустарниками, посева на опушках энтомофильных фуражных и нектароносных культур [12]. При конструировании микрозаказников в условиях засушливой зоны следует предусматривать введение робинии, черемухи, ирги, жимолости, скумпии, шиповника, смородины. Для формирования нектароносного конвейера рекомендуется посев на опушках фацелии, донника, эспарцета, горчицы, гречихи, укропа. Все это позволяет осуществлять направленное регулирование количественного и качественного состава насекомых, формировать необходимую цикличность сезонных и многолетних миграций, привлекать и направлять потоки энтомофагов к местам скопления вредителей.

Заключение

Расширение использования биологического метода защиты растений в практике сельскохозяйственного производства позволит перейти к устойчивому ресурсоэнергосберегающему природоохранному растениеводству, обеспечит экологическую стабильность агроландшафтов, максимальное сохранение биоразнообразия и рост численности полезной энтомофауны, обеспечивающей повышение роли естественных регуляторных механизмов.

Для сохранения биоразнообразия и увеличения численности полезных видов энтомофауны, как важного направления биологического метода защиты растений, рекомендовано сокращение химических обработок посевов путем перехода от сплошных обработок поля к локальным, точечным, применение краевых обработок, селективных препаратов.

Наличие в структуре севооборотов многолетних трав приводит к оптимизации соотношения численности фито- и энтомофагов в севообороте за счет активных миграций полезной энтомофауны. В севооборотах с многолетними травами также повышается относительная численность и наблюдается оптимизация распределения хищников, обитающих в напочвенном ярусе агроценозов, среди которых доминируют представители семейства жуужелиц (*Carabidae*).

Особое значение для повышения потенциала энтомофагов, паразитических насекомых и опылителей имеет создание энтомологических микрозаказников.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-410-340017 р_а «Зеленые технологии – драйвер стратегического развития малых городов и сельских поселений Юга России: теоретическое и методологическое обоснование».

Funding

The reported study was funded by RFBR and Administration of the Volgograd region according to the research project № 19-410-340017 «Green technologies – the driver of strategic development of small cities and rural settlements of the South of Russia: theoretical and methodological justification».

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Komarova O.P. Biological method of plant protection is one of the green economy development directions / O.P. Komarova, K.Yu. Kozenko, S.V. Zemlyanitsina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 3rd International Scientific Conference on Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture, MMTES. – 2020. – Vol. 786. – Issue 18. Article number 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/786/1/012007
2. Захаренко В.А. Биотехнологии и защита растений / В.А. Захаренко // *Защита и карантин растений*. – 2015. – № 11. – С. 3-6.
3. Мисриева Б.У. Агроэкологические основы применения пестицидов в Дагестане / Б.У. Мисриева, И.А. Агабалаев // *Вестник социально-педагогического института*. – 2015. – № 3 (15). – С. 7-14.
4. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения 02.12.2016).
5. Артохин К.С. Метод кошения энтомологическим сачком / К.С. Артохин // *Защита и карантин растений*. – 2010. – № 11. – С. 45-48.
6. Mykhailenko I.L., Method to study soil mesofauna as part consortium ecosystem / I.L. Mykhailenko, O.M. Smetana // *Питання біоіндикації та екології*. – 2014. – № 19-1. – С. 151-156.
7. Саченков А.В. Вредоносность доминантных фитофагов на семенных посевах яровой пшеницы и организация ее защиты / А.В. Саченков, Н.А. Емельянов // *Достижения науки и техники АПК*. – 2016. – Т. 30. – № 1. – С. 48-54.
8. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года / А.Л. Иванов [и др.]. – Волгоград: ИПК Волгоградской ГСХА «Нива», 2009. – 304 с.
9. Черезова Л.Б. Опушки лесных полос как станции формирования специфических комплексов жесткокрылых в агроландшафте / Л.Б. Черезова, Е.В. Комаров // *Бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации*. – 1990. – № 3. – С. 21-26.
10. Комаров Е.В. Состав, структура, распределение герпетобионтных жесткокрылых (Coleoptera) в орошаемом агроландшафте / Е.В. Комаров, Т.Л. Карпова // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12-11. – С. 2350-2356.
11. Демчук, А.Т. Трипсы на посевах семенной люцерны / А.Т. Демчук, Н.П. Дядечко, М.Б. Рубан // *Интегрированная защита растений от вредителей и болезней с.-х. культур : сб. науч. тр. УСХА*. – Киев, 1983. – С. 11-13.
12. Комаров Е.В. Создание сети экологических резерватов как одно из направлений повышения биоразнообразия энтомофауны // Е.В. Комаров, О.П. Комарова // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2021. – № 2 (62). – С. 151-159. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-16

Список литературы на английском языке / References in English

1. Komarova O.P. Biological method of plant protection is one of the green economy development directions / O.P. Komarova, K.Yu. Kozenko, S.V. Zemlyanitsina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 3rd International Scientific Conference on Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture, MMTES. – 2020. – Vol. 786. – Issue 18. Article number 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/786/1/012007. [in English].
2. Zacharenko V.A. Biotechnologii i zashhita rastenij [Biotechnology and plant protection] / V.A. Zacharenko // *Zashhita i karantin rastenij*. – 2015. – № 11. – Pp. 3-6. [in Russian].
3. Misrieva B.U. Agrojekologicheskie osnovy primenenija pesticidov v Dagestane [Agroecological bases of application of pesticides in Dagestan] / B.U. Misrieva, I.A. Agabalaev // *Vestnik social'no-pedagogicheskogo instituta*. – 2015. – № 3 (15). – Pp. 7-14. [in Russian].
4. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 1 dekabrja 2016 g. № 642 «O Strategii nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii» [The decree of the President of the Russian Federation of December 1, 2016 No. 642 "About the Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation"]. [Electronic resource]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (accessed 02.12.2016) [in Russian].
5. Artohin K.S. Metod koshenija jentomologicheskim sachkom [Entomological sweep-net method] // *Zashhita i karantin rastenij*. 2010. № 11. Pp. 45-48. [in Russian].
6. Mykhailenko I.L., Smetana O.M. Method to study soil mesofauna as part consortium ecosystem // *Pitannja bioindikacii ta ekologii*. 2014. № 19-1. Pp. 151-156. [in Ukrainian].
7. Sachenkov A.V. Vredonosnost' dominantnyh fitofagov na semennyh posevah jarovoj pshenicy i organizacija ee zashhity [The harmfulness of dominant phytophages on spring wheat seed crops and the organization of its protection] / A.V. Sachenkov, N.A. Emel'janov // *Dostizhenija nauki i tehniki APK*. – 2016. – Vol. 30. – № 1. – Pp. 48-54. [in Russian].

8. Sistema adaptivno-landshaftnogo zemledelija Volgogradskoj oblasti na period do 2015 goda [The system of adaptive landscape agriculture of the Volgograd region for the period up to 2015] / A.L. Ivanov [et al.]. – Volgograd: IPK Volgogradskoj GSHA «Niva», 2009. – 304 p. [in Russian].
9. Cherezova L.B. Opushki lesnyh polos kak sticii formirovaniya specifichnyh kompleksov zhestkokrylyh v agrolandshafte [Edges of forest strips as stations for the formation of specific coleoptera complexes in the agricultural landscape] / L.B. Cherezova, E.V. Komarov // Bjulleten' Vsesojuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta agrolesomelioracii. – 1990. – № 3. – Pp. 21-26. [in Russian].
10. Komarov E.V. Sostav, struktura, raspredelenie gerpetobiontnyh zhestkokrylyh (Coleoptera) v oroshaemom agrolandshafte [Composition, structure, distribution of herpetobiont Coleoptera (Carabidae) in irrigated agricultural landscape] / E.V. Komarov, T.L. Karpova // Fundamental'nye issledovanija. – 2014. – № 12-11. – Pp. 2350-2356. [in Russian].
11. Demchuk, A. T. Tripsy na posevah semennoj lyucerny [Thrips on seed alfalfa crops] / A. T. Demchuk, N. P. Dyadechko, M. B. Ruban // Integrirovannaya zaschita rastenij ot vreditel'ej i boleznej s.- h. kul'tur : sb. nauch. tr. USXA. –Kiev, 1983. – Pp. 11-13. [in Russian].
12. Komarov E.V. Sozdanie seti jekologicheskikh rezervatov kak odno iz napravlenij povyshenija bioraznoobrazija jentomofauny [Creation of a network of ecological reserves as one of the ways to increase the biodiversity of entomofauna] // E.V. Komarov, O.P. Komarova // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2021. – № 2 (62). – Pp. 151-159. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-16 [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.008>РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ИНСЕКТИЦИДОВ В БОРЬБЕ
С ВОСТОЧНЫМ КУКУРУЗНЫМ МОТЫЛЬКОМ В ПОСЕВАХ КУКУРУЗЫ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ

Научная статья

Ластушкина Е.Н.^{1,*}, Пронюшкина А.С.², Красковская Н.А.³¹ ORCID: 0000-0001-8621-2247;³ ORCID: 0000-0002-1639-3916;^{1,2} ДВНИИЗР – филиал «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», Камень-Рыболов, Россия;³ ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки, Уссурийск, Россия

* Корреспондирующий автор (biometod[at]rambler.ru)

Аннотация

В последние годы в Приморском крае повышается интерес к возделыванию кукурузы на зерно. При возделывании культуры сельхозпредприятия столкнулись с проблемой увеличения вредоносности восточного кукурузного мотылька *Ostrinia furnacalis* Gn. Кукурузный мотылек – наиболее опасный многоядный вредитель кукурузы. К началу уборки кукурузы поврежденность растений кукурузным мотыльком достигает 60-96%. Одним из способов борьбы с восточным кукурузным мотыльком в посевах кукурузы является использование биологических и химических средств защиты. Опрыскивание препаратами в период отрождения гусениц способствует значительному снижению численности вредителя и поврежденности им посевов. В задачу наших исследований входило испытание препаратов в борьбе с вредителем на кукурузе. Испытывались препараты: Фитоверм, КЭ; Амплиго, МКС; Децис Эксперт, КЭ. После обработки определялась поврежденность растений вредителем. В результате наших исследований выявлены более эффективные препараты. Их биологическая эффективность составила: Амплиго (0,3 л/га) 84,2%; Фитоверм (0,14 л/га) 67,3%; Децис Эксперт (0,2 л/га) 76,5%. Отмечено влияние погодных-климатических условий на поврежденность растений кукурузы вредителем. Установлено, что обилие осадков и высокие температуры воздуха способствуют увеличению вредоносности фитофага. Рекомендованы препараты, применяемые в зависимости от цели назначения и места выращивания культуры. Так, биоинсектицид Фитоверм разрешен для обработки посевов кукурузы в экологически значимых зонах. Химический препарат Амплиго целесообразно применять в производственных масштабах при высокой численности вредителя. Прибавка урожая зерна отмечена от применения инсектицида Амплиго от 0,52 до 1,51 т/га.

Ключевые слова: кукуруза, кукурузный мотылек, вредитель, препараты.RESULTS OF INSECTICIDE TESTING AGAINST ASIAN CORN BORER
IN THE CORN CROPS OF PRIMORSKY KRAI

Research article

Lastushkina E.N.^{1,*}, Pronyushkina A.S.², Kraskovskaya N.A.³¹ ORCID: 0000-0001-8621-2247;³ ORCID: 0000-0002-1639-3916;^{1,2} Far Eastern Research Institute of Plant Protection - branch of the A. K. Chayka Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Far East, Kamen-Rybolov, Russia;³ A. K. Chayka Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Far East, Ussuriysk, Russia

* Corresponding author (biometod[at]rambler.ru)

Abstract

In recent years, there has been an increase in the interest in the cultivation of corn for grain in Primorsky Krai. When cultivating crops, agricultural enterprises faced the problem of increasing the harmfulness of the corn moth species *Ostrinia furnacalis* Gn. The corn moth is the most dangerous omnivorous corn pest. By the beginning of corn harvesting, the damage to plants caused by the corn moth reaches 60-96%. One of the ways to combat the corn moth is the use of biological and chemical means of protection. Spraying special substances during the hatching of caterpillars contributes to a significant reduction in the number of pests and damage to crops. The task of the research was to test these substances in pest control on corn involving the following types: Fitoverm, emulsifiable concentrate; Ampligo, microencapsulated dispersion; Detsis Expert, emulsifiable concentrate. After treatment, the damage to the plants by the pest was determined. The results demonstrate a selection of more effective substances. Their biological efficiency: Ampligo (0.3 l/ha) 84.2%; Fitoverm (0.14 l/ha) 67.3%; Detsis Expert (0.2 l/ha) 76.5%. The influence of weather and climatic conditions on the damage of maize plants by the pest is also noted. It was found that the abundance of precipitation and high air temperatures contribute to an increase in the harmfulness of the phytophage. The article recommends substances used depending on the purpose of the appointment and the place of cultivation of the crop. The bioinsecticide Fitoverm is allowed for the treatment of corn crops in ecologically significant areas. The chemical preparation Ampligo is advisable to use on a production scale with a high pest population. The use of Ampligo also demonstrated an increase in grain yield from 0.52 to 1.51 t/ha.

Keywords: corn, corn worm, pest, drugs.

Введение

Восточный кукурузный мотылек *Ostrinia furnacalis* Gn. распространен на Дальнем Востоке России в Амурской области, Хабаровском и Приморском краях. В Приморье увеличиваются посевные площади кукурузы на зерно. При выращивании кукурузы на зерно сельхозпредприятия столкнулись с проблемой высокой вредоносности восточного кукурузного мотылька. В некоторых районах Приморского края отмечается недобор зерна до 40%. Погодные условия в крае способствуют распространению вредителя. Высокие температуры воздуха и обилие осадков благоприятно сказываются на развитии кукурузного мотылька [1, С. 28].

Основной особенностью его вредоносности является повреждение сердцевины стеблей сосудисто-волокнистых пучков, что усложняет поступление питательных веществ в различные органы растений кукурузы. Растения сильно обезвоживаются, повышается ломкость стеблей, задерживается цветение, уменьшается размер листьев, междоузлий и снижается продуктивность культуры. Повреждение метелки ухудшает опыление. Повреждение ножки початка способствует его недоразвитию.

В посевах кукурузы большое значение имеют агротехнические мероприятия: подбор устойчивых сортов к вредителю, соблюдение севооборота, подкормка удобрениями, своевременная уборка, заделка послеуборочных остатков и т.д. Одним из методов борьбы с кукурузным мотыльком является опрыскивание растений кукурузы химическими и биологическими препаратами. Наиболее уязвимым периодом для гусениц кукурузного мотылька в отношении химических обработок является первый и второй возраст, когда они концентрируются на только что вышедшей метелке (выметывание) и еще не внедрились в стебель [2, С. 15].

В борьбе с этим вредителем применяют ряд инсектицидов. Так, например, на Украине, во Франции и Италии применяют против кукурузного мотылька и хлопковой совки препарат Кораген, КС. На Украине согласно производственным опытам, было установлено, что повреждения стеблей и початков на варианте, где использовался Кораген, составили 1,5% и 8,3%, соответственно. На варианте с другими инсектицидами эти показатели были вдвое больше. Для контроля кукурузного стеблевого мотылька и хлопковой совки хорошо показал себя инсектицид Белт, КС в норме 0,1-0,15 л/га. Этот препарат контролирует все поколения данных вредителей. Но, следует отметить, что Белт не контролирует стадию яйца у вредителей. Этот недостаток может восполнить инсектицид Протеус, МД, учитывая чрезвычайно мощный овицидный его эффект [3, С. 31]. В условиях Республики Беларусь в посевах кукурузы на зерно и зеленую массу против стеблевого мотылька провели испытания препаратов Амплиго, Каратэ Зеон и Велес. В результате установлена высокая рентабельность этих препаратов [4, С. 38]. Из других литературных источников выяснено, что в условиях Белоруссии в борьбе со стеблевым кукурузным мотыльком биологическая эффективность от применения антраниламидов (Кораген, КС) составила 83,0-86%, комбинированных инсектицидов (Амплиго, МКС; Норил, КЭ; Борей, СК; Велес, КС; и др.) – 75,6-98,7%, неоникотиноидов (Визард 200, РП; Гринда, РП; Гигант, РП) – 81,8%, синтетических перитроидов (Вантекс, КС) – 64,2-93,5% [5, С. 16]. На Ставрополье защита кукурузы от основных вредителей (хлопковая совка, кукурузный стеблевой мотылек) осуществляется путем применения химических и биологических средств. В районах края на кукурузе применяют в основном химические средства. Отмечено, что у вредителей со временем вырабатывается резистентность к применяемым препаратам. Такая ситуация, сложившаяся в крае и других районах страны, требует дополнительно использовать биологические средства (энтомофагов, биопрепаратов). Обработки химическими инсектицидами допускаются в очагах повышенной концентрации вредителей. На кукурузе высокую эффективность показали препараты: Матч (72%), Проклэйм (91%), Лепидоцид и Битоксибациллин (78-89%). Препараты Каратэ Зеон и Шарпей показали крайне низкую эффективность (26-33%) [6, С. 37].

В условиях Приморского края в 2005-2009 гг. сотрудниками отдела биометода ДВНИИЗР были испытаны некоторые препараты, разрешенные в посевах кукурузы. Установлена кратность и период обработки растений кукурузы инсектицидами. Так, было отмечено, что при обработке растений кукурузы химическими и биологическими препаратами эффективно 2 опрыскивания: первое – через 6-7 дней после обнаружения яйцекладок вредителя, второе – через 2 недели после первого. В Приморском крае во второй половине июля проводится первое опрыскивание, второе – в начале августа. В годы с меньшей вредоносностью достаточно одного опрыскивания, а при сильном заселении (80-90%) и яйцекладке свыше 10 яиц на 1 растение кукурузы потребуется второе опрыскивание [1, С. 29], [7, С. 34].

Материалы и методы исследования

Целью наших исследований в 2019-2020 гг. было испытание препаратов в борьбе с вредителем и определение эффективности их применения в условиях Приморского края. Для этого в посевах кукурузы закладывали опыт на полях отдела селекции и первичного семеноводства кукурузы ФГБНУ «ФНЦ агроботехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки». Опыт состоял из 6 вариантов. Площадь делянки – 3,5 м². Повторность трехкратная. Размещение вариантов – рандомизированным методом. Варианты опыта:

1. Контроль (без обработки);
2. Амплиго, МКС (100г/л хлорантранилипрол + 50г/л лямбда-цигалотрин), 0,2л/га;
3. Амплиго, МКС 0,3 л/га; 4. Фитоверм, КЭ (аверсектин С, 50г/л) 0,1 л/га;
5. Фитоверм КЭ 0,14 л/га;
6. Децис Эксперт, КЭ (100г/л дельтаметрина) 0,2 л/га.

Амплиго – новый инсектицид пропашных культур, который состоит из двух действующих веществ. 1. Хлорантранипрол 100г/л – это вещество способствует потери мышечного сокращения у насекомого. У него происходит быстрая остановка питания и подвижности. 2. Лямбда-цигалотрин 50г/л – этот компонент воздействует на каналы мембран нервных клеток, нарушая нервную проводимость. У насекомых теряется контроль над мышечной деятельностью. Амплиго контролирует чешуекрылых вредителей на всех стадиях развития. Гусеницы погибают уже через 1 день, гибель всех гусениц происходит через 3 дня. Амплиго обладает длительной инсектицидной активностью (2-3 недели). Препарат работает в диапазоне температур от +10°C до +30°C. Дождь, прошедший спустя 1 час после обработки, не приводит к снижению эффективности инсектицида. Амплиго зарегистрирован на кукурузе как препарат контактно-системного действия в норме 0,2-0,3 л/га. Препаративная форма его – микрокапсулированная суспензия (МКС). Инсектицид относится к химическому классу – антраниламиды, пиретроиды [8, С. 23].

Фитоверм, КЭ (10г/л) создан на основе природного авермектинового комплекса, продуцируемого почвенным актиномицетом *Streptomyces avermectilis*. Выпускается в виде прозрачной жидкости, обладает инсектицидными и акарицидными свойствами контактного и кишечного действия. Срок ожидания не превышает 48 часов. Фитоверм, КЭ (50 г/л) создан с повышенным содержанием действующего вещества с целью снижения норм расхода препарата.

Децис Эксперт – универсальный контактный инсектицид. Он способен плотно покрывать растения и насекомых. Защитное действие продолжается 14 суток. Обработка проводится не более 2 раз за сезон. Норма расхода препарата 0,1-0,2 л/га.

Опрыскивание проводилось однократно в фазу выметывания. В 2019г. обработка проводилась 6 августа, а в 2020г. – 5 августа. Осенью перед уборкой урожая проводили оценку поврежденности растений. Для этого на 10 исследуемых растениях каждого варианта отмечали повреждения: количество ходов в стебле, сломы метелок и стеблей, повреждение початков и ножек початков, длина ходов, количество гусениц в стебле. Затем давали оценку поврежденности растений вредителем в баллах, используя шкалу по методике И.Д. Шапиро [9, С. 45]:

- 1 балл – количество ходов менее 5;
- 2 балла – количество ходов – 5 и более;
- 2 балла – поражение початка;
- 2 балла – слом метелки;
- 3 балла – поражение ножки початка;
- 4 балла – слом стебля.

Затем баллы суммировали по каждому варианту и находили среднее значение. Средний балл повреждения растений в каждом варианте сравнивали со средним значением его в контроле. После обработки полученных данных были определены наиболее эффективные препараты. Биологическая эффективность препаратов определялась по степени поврежденности (в баллах) растений вредителем по формуле [10, С. 30], [11, С. 28]:

$$B = \frac{A-B}{A} \times 100\%,$$

где А – поврежденность растений в контроле;
В – поврежденность растений в варианте опыта.

Результаты исследования и обсуждение

В 2019-2020 гг. после обработки препаратами растений кукурузы через месяц проведена оценка опытных растений на поврежденность их вредителем (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Средние значения показателей поврежденности растений кукурузы в условиях 2019-2020 гг.

Препарат	Норма расхода, л/га	Средний балл повреждения	Кол-во гусениц на 1 растение	Слом стебля, %	Повреждение		Средняя длина ходов на 1 растение, см
					початков, %	ножек початков, %	
1. Контроль	-	3,4	1,0	39,7	5,0	10,9	7,4
2. Амплиго, МКС	0,2	1,8	0	10,0	0	0	0,6
3. Амплиго, МКС	0,3	0,6	0,2	11,4	1,4	5,0	2,3
4. Фитоверм, 5% КЭ	0,1	2,5	0,4	22,9	3,4	14,5	3,5
5. Фитоверм, 5% КЭ	0,14	1,3	0,3	15,4	0	2,2	1,9
6. Децис Эксперт, КЭ	0,2	0,8	0	23,7	0	11,9	0,7
НСР ₍₀₅₎		0,9	0,3	11,5	1,7	8,0	1,2

Из данных таблицы видно, что по сравнению с контролем по среднему баллу выделились все варианты как менее поврежденные фитофагом. Балл повреждения растений кукурузы в этих вариантах варьировал в пределах 0,6-2,5 по шкале устойчивости образцов к вредителю. В контроле этот показатель составил – 3,4. Известно, что вредоносность вредителя в значительной степени зависит от интенсивности повреждений в связи с количеством гусениц на растение. Чем больше гусениц приходится на 1 растение, тем поврежденность выше. По этому показателю количество гусениц на 1 растение меньше, чем в контроле (1,0 особей), обнаружено во всех вариантах (0-0,4 особей). Известно также, что сломы метелки и стебля способствуют снижению урожайности и большим потерям при механизированной уборке [2, С. 7]. Наименьшим сломом стебля по сравнению с контролем (39,7% сломанных стеблей) выделились все варианты, где проводили обработку препаратами. Можно отметить, что растения кукурузы, обработанные инсектицидом Амплиго (0,2 и 0,3 л/га нормах расхода препарата) имели наименьший слом стебля (10,0 и 11,4% соответственно). Поражение початков растений кукурузы не обнаружено (0%) в вариантах с использованием Амплиго (0,2 л/га), Фитоверма (0,14 л/га) и Децис Эксперт. Не менее важный показатель устойчивости растений – повреждение ножки початка. Гусеницы, внедрившись в стебель или ножку початка, перегрызают сосудисто-волокнистые пучки, тем самым нарушая поступление питательных веществ. При повреждении ножки початка, особенно в начале формирования, початок либо совсем не формируется, либо формируется уродливым [2, С. 8]. По этому показателю по сравнению с контролем (10,9%)

отличились все варианты опыта за исключением варианта, где растения кукурузы были обработаны препаратом Фитоверм 0,1 л/га (14,5%). Средняя длина ходов на 1 растение – информативный показатель конечной выживаемости вредителя. Чем меньше длина ходов в стебле, тем действие препарата на гусениц вредителя более эффективно. По этому показателю все препараты показали своё преимущество (0,6-3,5 см длина ходов на 1 растение) по сравнению с контролем (7,4 см).

В результате оценки поврежденности и учета урожайности кукурузы в опыте, выделились варианты, где растения меньше повреждались и были более урожайными (см. таблицу 2). По данным таблицы 2 видно, что высокая биологическая эффективность отмечена у таких препаратов: Амплиго, 0,2 л/га (57,1%); Амплиго, 0,3 л/га (84,2%); Фитоверм, 0,14 л/га (67,3%); Децис Эксперт (76,5%). Прибавка урожая отмечена в вариантах опыта от применения инсектицида Амплиго, 0,2 л/га (+1,51 т/га) и Амплиго, 0,3 л/га (+0,52 т/га).

Таблица 2 – Результаты испытания препаратов за период 2019- 2020 гг.

Вариант опыта	Норма расхода, л/га	Биологическая эффективность, %	Масса сухого зерна, г/растение	Прибавка урожая	
				г/растение	т/га
1. Контроль	-	-	84,2	-	-
2. Амплиго, МКС	0,2	57,1	146,1	+52,7	1,51
3. Амплиго, МКС	0,3	84,2	98,5	+14,3	0,52
4. Фитоверм, 5% КЭ	0,1	32,9	86,0	-	-
5. Фитоверм, 5% КЭ	0,14	67,3	67,1	-	-
6. Децис Эксперт, КЭ	0,2	76,5	67,9	-	-

Как отмечалось ранее, климатические условия оказывают влияние на развитие и вредоносность кукурузного мотылька. Обилие осадков и высокие температуры способствуют увеличению численности и вредоносности вредителя. Однако, ливневые дожди и тайфуны в период яйцекладки и отрождения гусениц губительно действуют на размножение фитофага [7, С. 32]. По нашим данным средний балл повреждения растений кукурузы в 2019 г. был выше (2,3 балла) по сравнению с 2020 г. (1,5 балла). Это объясняется погодными условиями, сложившимися за этот период. 2019 г. был более благоприятным для развития кукурузного мотылька. В этом году осадков в августе выпало значительно выше нормы (+92,5 мм) и средняя температура воздуха так же была выше нормы на 1°C. В августе 2020 г. осадков выпало немного выше нормы (+ 6,1 мм), а температура воздуха была выше на 0,8°C по сравнению с 2019 г. Исходя из этого можно сделать вывод, что в условиях 2019 г., где вредоносность вредителя была выше, целесообразно проводить две обработки растений препаратами.

Заключение

В заключении можно отметить, что несомненно химические препараты в борьбе с восточным кукурузным мотыльком в посевах кукурузы показали высокую эффективность 76,5-84,2% (Амплиго, Децис Эксперт) и давали прибавку урожая от 0,52 до 1,51 т/га (Амплиго) по сравнению с биоинсектицидом Фитоверм. Фитоверм лишь немного уступал по всем показателям химическим препаратам. Фитоверм целесообразно применять в экологически значимых регионах, где обработка химическими препаратами запрещена. В таких районах применяются только биологические и агротехнические мероприятия для защиты посевов кукурузы от вредителя. Химический препарат Амплиго по результатам наших испытаний – перспективный инсектицид в борьбе с чешуекрылыми вредителями на кукурузе, в т.ч. и с восточным кукурузным мотыльком. По нашим данным и другим источникам инсектицид Амплиго целесообразно применять в условия производства при высокой численности вредителя и муссонного климата Приморского края, учитывая термо- и гидростойкость препарата.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Потемкина В.И. Вредоносность кукурузного мотылька в Приморском крае / В.И. Потемкина, Е.Н. Ластушкина // Защита и карантин растений. – 2010. – №3. – С.28-29.
2. Потемкина В.И. Восточный кукурузный мотылек *Ostrinia Furnacalis* Guenee, 1854 Lepidoptera: Crambidae, Pyraustinae и меры борьбы с ним в Приморском крае / В.И. Потемкина, Е.Н. Ластушкина – Владивосток: Дальнаука, 2013. – 51 с.
3. Иваненко С. Тактика и стратегия защиты кукурузы от вредителей / С. Иваненко // AgroONE. – №31. – С. 30-31.
4. Трепашко Л.И. Целесообразность защиты кукурузы от стеблевого кукурузного мотылька в Беларуси / Л.И. Трепашко, А.В. Быковская // Защита и карантин растений. – 2015. – №7. – С. 38-41.
5. Быковская А.В. Биологическое обоснование и разработка мероприятий по защите кукурузы от стеблевого кукурузного мотылька (*Ostrinia Nubilalis* Hbn.) / А.В. Быковская - Автореферат, Прилуки, Минского района, 2015. – С. 16-18.
6. Стамо П.Д. Защита кукурузы на Ставрополье / П.Д. Стамо, В.Г. Коваленков, О.В. Кузнецова // Защита и карантин растений. – 2015. – №8. – С. 34-37.

7. Потемкина В.И. Биологические особенности восточного кукурузного мотылька *Ostrinia Furnacalis* Guenee (Lepidoptera, Pyralidae) и меры борьбы с ним в Приморском крае / В.И. Потемкина, Е.Н. Ластушкина // Кукуруза и сорго. – 2010. – №3. – С. 30-34.
8. Быковская А.В. Оптимизация применения инсектицидов для защиты кукурузы от стеблевого кукурузного мотылька (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) в Беларуси / А.В. Быковская, Л.И. Трепашко // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: сборник материалов IV международной научной конференции – Симферополь ИТ АРИАЛ, 2019. – С. 23-25.
9. Шапиро И.Д. Вредоносность стеблевого мотылька на посевах кукурузы в Краснодарском крае / И.Д. Шапиро // Бюллетень ВИЗР. – 1979. – №4. – С. 45-49.
10. Долженко В.И. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве / В.И. Долженко – Санкт-Петербург, 2009. – С. 29-30.
11. Трепашко Л.И. Защита кукурузы от стеблевого мотылька при изменении вредоносности и расширении его ареала на территории Беларуси / Л.И. Трепашко, А.В. Быковская // Земледелие и защита растений. – 2019. – №3. – С. 26-31.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Potemkina V.I. Vredonosnost' kukuruznogo motyl'ka v Primorskom kraye [Harmfulness of the corn moth in the Primorsky Territory] / V.I. Potemkina, E.N. Latushkina // Plant protection and quarantine. – 2010. – №3. – PP. 28-29. [in Russian]
2. Potemkina V.I. Vostochnyy kukuruznyy motylek *Ostrinia Furnacalis* Guenee, 1854 Lepidoptera: Crambidae, Pyraustinae i mery bor'by s nim v Primorskom kraye [Eastern corn moth of *Ostrinia Furnacalis* Guenee, 1854 Lepidoptera: Crambidae, Pyraustinae and measures to combat it in the Primorsky Territory] / V.I. Potemkina, Ye.N. Lastushkina– Vladivostok: Dal'nauka, 2013. – 51 p. [in Russian]
3. Ivanenko S. Taktika i strategiya zashchity kukuruzy ot vrediteley [Tactics and strategy of protecting corn from pests] / S. Ivanenko // AgroOne. – №31. – PP. 30-31. [in Russian]
4. Trepashko L.I. Tselesoobraznost' zashchity kukuruzy ot steblevogo motyl'ka v Belarusi [Expediency of corn protection from corn stem moth in Belarus] / L.I. Trepashko, A.V. Bykovskaya // Plant protection and quarantine. – 2015. – № 7. – PP. 38-41. [in Russian]
5. Bykovskaya A.V. Biologicheskoye obosnovaniye i razrabotka meropriyatiy po zashchite kukuruzy ot steblevogo kukuruznogo motyl'ka (*Ostrinia Nubilalis* Hbn.) [Biological justification and development of measures to protect corn from the corn stem moth (*Ostrinia Nubilalis* Hbn.)] / A.V. Bykovskaya- Abstract, Priluki, Minsk district, 2015. – PP. 16-18. [in Russian]
6. Stamo P.D. Zashchita kukuruzy na Stavropol'ye [Protection of corn in the Stavropol region] / P.D. Stamo, V.G. Kovalenkov, O.V. Kuznetsova // Protection and quarantine of plants. – 2015.– № 8.– PP. 34-37. [in Russian]
7. Potemkina V.I. Biologicheskiye osobennosti vostochnogo kukuruznogo motyl'ka *Ostrinia Furnacalis* Guenee (Lepidoptera, Pyralidae) i mery bor'by s nim v Primorskom kraye [Biological features of the eastern corn moth *Ostrinia Furnacalis* Guenee (Lepidoptera, Pyralidae) and measures to combat it in the Primorsky Territory] / V.I. Potemkina, E.N. Latushkina // Corn and sorghum. – 2010. – № 3. – PP. 30-34. [in Russian]
8. Bykovskaya A.V. Optimizatsiya primeneniya insektitsidov dlya zashchity kukuruzy ot steblevogo kukuruznogo motyl'ka (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) v Belarusi [Optimization of the application of the insecticides for corn protection against *Ostrinia nubilalis* Hbn. in Belarus] / A.V. Bykovskaya, L.I. Trepashko // Sovremennoye sostoyaniye, problem i perspektivy razvitiya agrarnoy nauki: sbornik materialov IV mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [The current state, problems and prospects of agricultural science development: collection of materials of the IV International Scientific Conference] – Simferopol IT ARIAL, 2019. – PP. 23-25. [in Russian]
9. Shapiro I.D. Vredonosnost' steblevogo motyl'ka na posevakh kukuruzy v Krasnodarskom kraye [Harmfulness of the stem moth on corn crops in the Krasnodar Territory] / I.D. Shapiro // Bulletin of the VISR. – 1979. – №46. – PP. 45-49. [in Russian]
10. Dolzhenko V.I. Metodicheskiye ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam insektitsidov, akaritsidov, molyuskotsidov, rodentitsidov v sel'skom khozyaystve [Methodological guidelines for registration tests of insecticides, acaricides, molluscocides and rodenticides in agriculture] / V.I. Dolzhenko –Sankt-Peterburg, 2009. – PP. 29-30. [in Russian]
11. Trepashko L.I. Zashchita kukuruzy ot steblevogo motyl'ka pri izmenenii vredonosnosti i rasshireniy ego areala na territorii Belarusi [Protection of corn from the stem moth with a change in harmfulness and expansion of its range on the territory of Belarus] / L.I. Trepashko, A.V. Bykovskaya // Agriculture and plant protection. – 2019. – № 3. – PP. 26-31. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.009>

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА НА ДОЛЮ ЕЛИ В СОСТАВЕ ДРЕВОСТОЕВ ПО ЛЕСНЫМ РАЙОНАМ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Научная статья

Мельникова К.В.¹, Залесов С.В.^{2,*}

¹ ORCID: 0000-0002-9188-8492;

² ORCID: 0000-0003-3779-410X;

^{1, 2} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

На примере четырех «ключевых» лесничеств Пермского края проанализировано распределение площади насаждений с участием ели в составе древостоев по лесным районам. Установлено, что общим для всех районов является незначительная доля чистых еловых насаждений. При этом чистые ельники представлены преимущественно лесными культурами первого класса возраста.

Большинство насаждений характеризуется долей ели 3 и 4 единицы формулы состава. При этом в молодняках доминируют насаждения с долей ели 3 единицы, а в насаждениях пятого и старше классов возраста с 4 единицами в формуле состава. Указанное свидетельствует о высокой потенциальной эффективности рубок ухода за составом в молодняках с участием ели в составе древостоев и выборочных рубок спелых и перестойных насаждений. Указанные рубки обеспечивают доминирование ели в составе древостоев за счет удаления части деревьев мягколиственных пород. Формирование чистых ельников не целесообразно, поскольку приводит к снижению устойчивости древостоев против неблагоприятных природных и антропогенных факторов.

Особенности распределения насаждений с участием ели в составе древостоев по лесным районам и классам возраста следует учитывать при планировании и проведении лесоводственных мероприятий.

Ключевые слова: Пермский край, лесные районы, ельник, древостой, состав, класс возраста, лесоводственные мероприятия.

THE INFLUENCE OF AGE ON THE PROPORTION OF SPRUCE IN THE COMPOSITION OF STANDS IN THE FOREST AREAS OF PERM KRAI

Research article

Melnikova K.V.¹, Zalesov S.V.^{2,*}

¹ ORCID: 0000-0002-9188-8492;

² ORCID: 0000-0003-3779-410X;

^{1, 2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (Zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Abstract

Using the four key forest areas of Perm Krai, the current study analyzes the distribution of the area of stands with the spruce in the composition of stands by forest areas. The study establishes that a small proportion of pure spruce stands is common to all districts. At the same time, pure spruce forests are mainly represented by forest crops of the first age class.

Most plantings are characterized by a proportion of spruce 3 and 4 units of formula composition. At the same time, young plants are dominated by plantings with a proportion of spruce 3 units, and in plantings of the fifth and older age classes with 4 units in the composition formula. This indicates a high potential efficiency of logging of the composition in young trees with spruce in the composition of stands and selective logging of mature and overgrown plantations. These cuttings ensure the dominance of spruce in the composition of stands due to the removal of some soft-wooded broadleaved species. The formation of pure spruce forests is not advisable, since it leads to a decrease in the stability of stands against unfavorable natural and anthropogenic factors.

The characteristics of the distribution of stands with spruce as part of stands by forest areas and age classes should be taken into account when planning and conducting forestry activities.

Keywords: Perm Krai, forest areas, spruce forest, stand, composition, age class, forestry activities.

Введение

Общезвестно, что доминирующие в практике лесопользования в XX столетии сплошные, преимущественно концентрированные, рубки и лесные пожары привели к массовой смене коренных хвойных насаждений на производные мягколиственные. Примером данного негативного явления является Пермский край, где за период с 1948 по 2018 гг. площадь еловых насаждений уменьшилась с 6431,4 до 5246,7 тыс. га. При этом площадь березняков и осинников за тот же период увеличилась на 1993,2 и 410,67 тыс. га, соответственно [1].

Массовая смена коренных ельников на производные березняки и осинника зафиксирована и в других субъектах Российской Федерации [2], [3], [4]. Естественно, что восстановление площади еловых насаждений может быть обеспечено созданием искусственных насаждений. Однако создание лесных культур и последующее выращивание искусственных насаждений связано со значительными сложностями и требует существенных материальных затрат на подготовку почвы, выращивание посадочного материала, посадку лесных культур, проведение агротехнических и лесоводственных уходов и т.д.

Более простым и менее затратным является увеличение доли еловых насаждений за счет проведения рубок ухода и выборочных рубок спелых и перестойных насаждений [5], [6]. Однако доля ели в составе древостоев зависит от многих факторов и логично предположить, что она меняется по лесным районам даже в пределах одного класса возраста.

Поскольку нам не удалось в научной литературе обнаружить данных о доле ели в составе древостоев в зависимости от их возраста по лесным районам, мы решили рассмотреть данный вопрос на примере Пермского края.

Цель, объекты и методика исследований

Целью работы являлся анализ доли ели в составе древостоев в зависимости от возраста по лесным районам Пермского края.

Лесной фонд Пермского края существенно различается по лесорастительным условиям и, как следствие этого, по таксационным показателям насаждений. Указанное обстоятельство позволило распределить территорию края на четыре лесных района [7]: Западно-Уральский таежный, Южно-таежный район европейской части Российской Федерации, Средне-Уральский таежный и район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. При этом три первых лесных района относятся к таежной лесорастительной зоне, а четвертый к зоне хвойно-широколиственных лесов (рис. 1).

Объектом наших исследований являлись чистые ельники, а также насаждения с примесью ели в составе древостоев. Исследования проводились во всех четырех лесных районах, для чего в каждом лесном районе было подобрано «ключевое», т.е. наиболее типичное лесничество, данные по которому являются репрезентативными для конкретного лесного района. В качестве ключевых для Западно-Уральского таежного лесного района было выбрано Чердынское, для Южно-таежного района европейской части Российской Федерации – Добрянское, для Средне-Уральского таежного района – Красновишерское и для района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации – Осинское лесничество.

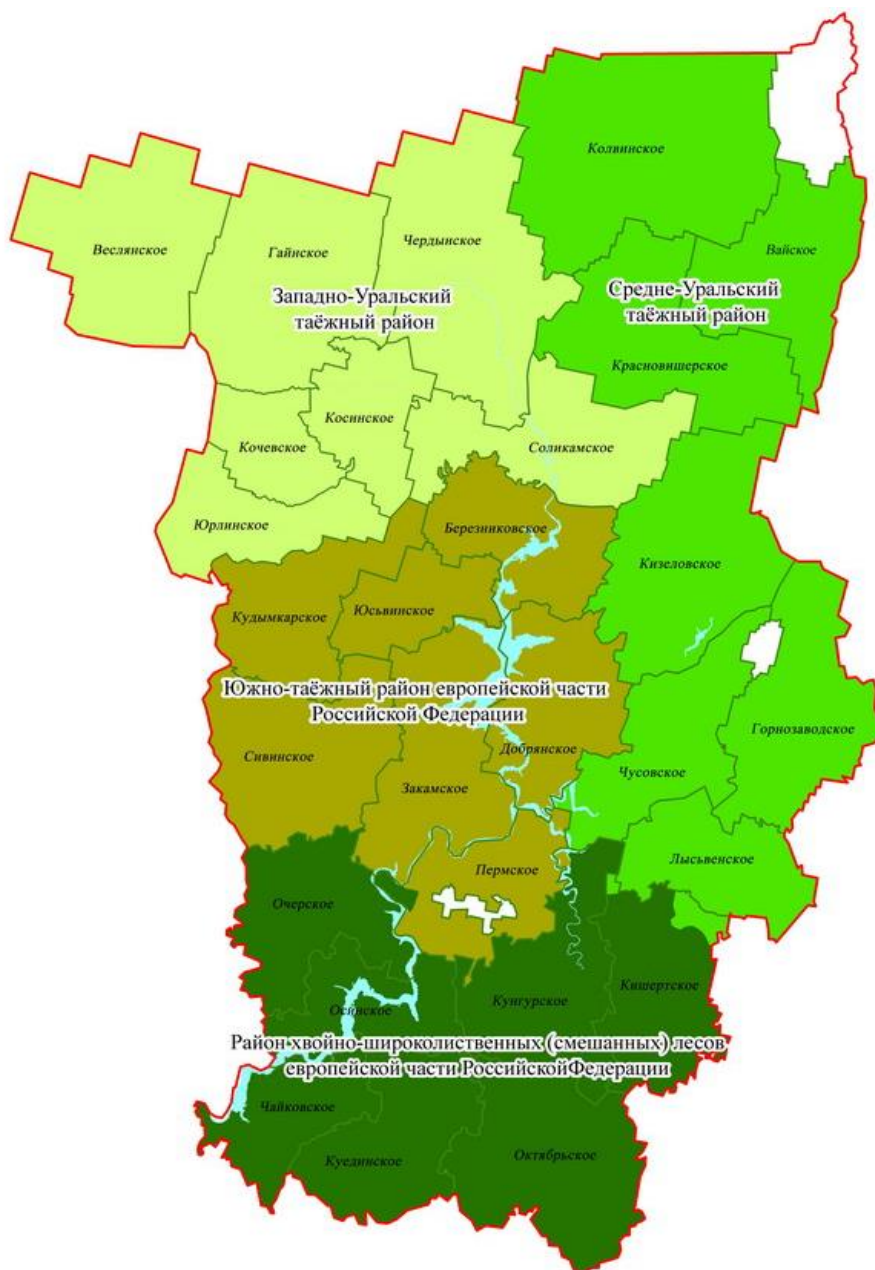


Рис. 1 – Распределение лесного фонда Пермского края по лесным районам

В основу исследований был положен анализ баз данных лесоустроительных материалов. В процессе исследований общая совокупность выделов каждого из вышеуказанных лесничеств была рассортирована с учетом конкретных

таксационных показателей, в частности, возраста и доли ели в составе древостоев с применением специальных программ [8], [9].

Результаты и обсуждение

Выполненные исследования показали, что в Западно-Уральском таежном лесном районе доля чистых еловых древостоев не превышает 0,7% от площади насаждений, где ель встречается в составе древостоев. Кроме того, следует отметить, что в данном лесном районе отсутствуют насаждения с примесью ели одна единица в составе древостоя (табл. 1).

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что наиболее представленными являются насаждения, в которых доля ели составляет 4 единицы формулы состава. При этом в молодняках максимальную площадь составляют насаждения, доля ели в которых представлена тремя единицами формулы состава. Последнее наглядно свидетельствует о необходимости проведения рубок ухода.

Особо следует отметить, что доля насаждений с участием ели в составе древостоев старше пятого класса возраста составляет 53,2%, а на молодняки приходится 30,2% таких древостоев.

Близкая картина характерна для насаждений с участием ели в Средне-Уральском таежном лесном районе (табл. 2).

Для Средне-Уральского таежного лесного района также как и для Западно-Уральского таежного характерно доминирование насаждений с долей участия ели 3 и 4 единицы формулы состава. При этом в молодняках преобладают насаждения с долей ели 3 единицы формулы состава древостоя. Другими словами, при проведении рубок ухода в молодняках можно увеличить долю еловых насаждений.

Чистых еловых древостоев очень немного 0,1% и они представлены преимущественно лесными культурами. Однако проведение выборочных рубок в спелых и перестойных насаждениях позволит на 65,4% площадей получить мягколиственную древесину и увеличить долю еловых насаждений, точнее насаждений с преобладанием ели в составе древостоев. Указанное объясняется тем, что первоочередному удалению при выборочных рубках подлежат перестойные деревья мягколиственных пород.

В условиях Южно-таежного района европейской части РФ (Добрянское лесничество) по сравнению с описанными ранее двумя лесными районами значительно меньше доля насаждений седьмого и старше классов возраста с участием ели в составе древостоев (табл. 3).

Согласно материалов табл. 3 максимальная доля насаждений с участием ели в составе древостоев приходится на насаждения, где ель представлена тремя единицами в формуле состава. Однако в насаждениях 5 и старше классов возраста выше доля древостоев с наличием четырех единиц ели в формуле состава. Последнее свидетельствует, что даже удаление из указанных насаждений 15% запаса за счет мягколиственных пород обеспечит доминирование ели в составе. Формирование чистых ельников выборочными рубками спелых и перестойных насаждений и рубками ухода нецелесообразно по двум причинам. Во-первых, как показали наши исследования, чистые древостои ели в природе формируются редко и, как правило, в виде исключения. Во-вторых, они менее устойчивы по сравнению со смешанными против негативных природных и антропогенных факторов [10], [11], [12].

Близкие закономерности в распределении насаждений с участием ели в составе древостоев формируются и в районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации, что подтверждается на примере «ключевого» Осинского лесничества (табл. 4).

Таблица 1 – Площадь насаждений Чердынского лесничества с наличием ели в составе древостоев

Доля ели в составе	Класс возраста														Итого	
	1		2		3		4		5		6		7 и старше			
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
2	3725,1	13,8	11210,7	16,8	2730,8	10,3	1393,4	5,6	1587,3	5,5	1609,5	4,6	208,8	0,2	22465,6	7,2
3	10423,9	38,7	22093,7	33,1	4154,5	15,6	3027,1	12,1	4710,1	16,5	5808,0	16,5	4041,2	4,0	54258,5	17,5
4	8305,1	30,9	17349,1	26,0	5257,6	19,7	5454,2	21,9	7349,9	25,7	8032,7	22,8	17114,3	16,9	68862,9	22,2
5	3533,6	13,1	8955,6	13,4	6879,0	25,8	6137,5	24,6	5028,9	17,6	6895,3	19,5	19694,0	19,4	57123,9	18,4
6	448,2	1,7	3611,3	5,4	4362,4	16,4	4663,5	18,7	4947,7	17,3	6254,5	17,7	25155,2	24,8	49442,8	15,9
7	311,4	1,2	919,2	1,4	1481,6	5,6	2860,3	11,5	2923,8	10,2	3338,3	9,5	17311,7	17,1	29146,3	9,4
8	78,9	0,3	1803,8	2,7	1464,6		1076,3	4,3	1650,7	5,8	2587,4	7,3	13784,5	13,6	22446,2	7,2
9	4,8	-	352,1	0,5	258,0	1,0	179,5	0,7	360,3	1,2	467,0	1,3	3145,1	3,1	4766,8	1,5
10	83,7	0,3	476,8	0,7	37,3	0,1	162,6	0,6	67,5	0,2	290,0	0,8	883,8	0,9	2001,7	0,7
Итого	26914,7	100	66772,3	100	26625,8	100	24954,4	100	28626,2	100	35282,7	100	101338,6	100	310514,7	100

Таблица 2 – Площадь насаждений Красновишерского лесничества (Средне-Уральский таежный лесной район) с наличием ели в составе древостоев

Доля ели в составе, ед.	Класс возраста														Итого	
	1		2		3		4		5		6		7 и старше			
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
1	-	-	169,3	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169,3	0,1
2	1734,7	9,5	5587,7	14,5	5913,0	17,6	1263,5	5,6	645,3	4,3	4149,0	10,2	3170,9	2,0	22464,1	6,9
3	9344,2	51,4	23897,3	62,1	11844,5	35,3	6550,5	29,2	3025,9	20,1	10606,4	26,1	18412,1	11,7	83680,9	25,6
4	4894,9	26,9	7149,2	18,6	11933,8	35,6	8750,2	39,0	5129,0	34,0	14756,7	36,3	30504,9	19,3	83118,7	25,5
5	1555,2	8,6	1251,1	3,3	2784,5	8,3	3289,9	14,7	3235,6	21,4	6274,7	15,5	44207,2	28,0	62598,2	19,2
6	220,2	1,2	188,4	0,5	789,8	2,4	1669,8	7,4	1803,6	12,0	3141,5	7,7	39416,4	25,0	47229,7	14,5
7	124,3	0,7	194,2	0,5	199,3	0,6	765,1	3,4	589,4	3,9	1128,6	2,8	17668,3	11,2	20669,2	6,3
8	91,4	0,5	50,1	0,1	33,8	0,1	142,3	0,6	471,3	3,1	466,5	1,2	3994,2	2,2	4749,6	1,5
9	8,1	-	5,1	-	31,4	0,1	24,5	0,1	144,8	0,9	88,6	0,2	790,9	0,5	1093,4	0,3
10	213,4	1,2	2,8	-	7,7	-	7,3	-	42,3	0,3	7,7	-	184,7	0,1	465,9	0,1
Итого	18186,4	100	38495,2	100	33537,8	100	22463,1	100	15087,2	100	40619,7	100	157849,6	100	326239,0	100

Таблица 3 – Площадь насаждений Добрянского лесничества (Южно-таежный район европейской части РФ) с наличием ели в составе древостоев

Доля ели в составе, ед.	Класс возраста														Итого	
	1		2		3		4		5		6		7 и старше			
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
1	-	-	8,7	-	-	-	-	-	-	-	12,1	0,1	-	-	20,8	0,02
2	3535,3	20,1	7102,8	23,4	673,0	4,7	860,9	7,1	454,6	2,8	1484,5	7,9	775,5	6,5	14886,6	12,23
3	10302,0	58,6	19172,7	63,1	4589,3	32,2	3470,2	28,4	3730,6	22,7	3713,2	19,7	2496,5	20,9	47474,5	39,02
4	2718,6	15,4	3027,5	10,0	6151,4	43,2	3268,2	26,8	4933,6	29,9	4082,9	21,6	2832,4	23,8	27014,6	22,20
5	450,0	2,6	669,2	2,2	1431,1	10,0	1545,2	12,6	2989,2	18,2	3742,9	19,8	2357,3	19,8	13184,9	10,84
6	125,5	0,7	187,1	0,6	554,0	3,9	1419,3	11,6	2424,1	14,7	2815,1	14,9	1891,7	15,9	9416,8	7,74
7	47,5	0,3	92,0	0,3	532,2	3,7	931,2	7,6	1407,5	8,5	2168,8	11,5	1067,1	9,0	6246,3	5,13
8	84,4	0,5	62,8	0,2	232,6	1,6	681,5	5,6	469,4	2,8	751,2	4,0	414,9	3,5	2696,8	2,22
9	1,6	-	24,6	0,1	62,4	0,5	28,1	0,2	66,9	0,4	99,4	0,5	62,5	0,5	345,5	0,28
10	312,2	1,8	27,3	0,1	30,0	0,2	11,2	0,1	-	-	1,3	-	8,5	0,1	390,5	0,32
Итого	17577,1	100	30374,7	100	14256,0	100	12215,8	100	16475,9	100	18871,4	100	11906,4	100	121677,3	100

Таблица 4 – Площадь насаждений Осинского лесничества (район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части РФ) с наличием ели в составе древостоев

Доля ели в составе, ед.	Класс возраста														Итого	
	1		2		3		4		5		6		7 и старше			
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
2	731,8	8,6	1084,5	12,9	642,2	7,2	686,6	4,3	383,3	7,8	942,0	15,5	831,0	33,0	5301,4	9,6
3	5340,9	62,9	5381,6	63,9	1942,2	21,7	3643,8	22,5	1714,2	34,7	2308,6	38,0	753,2	29,9	21084,5	37,9
4	1497,5	17,6	1273,3	15,1	2211,6	24,7	5243,1	32,4	1427,6	28,9	1911,7	31,5	557,4	22,1	14122,2	25,4
5	334,2	3,9	260,9	3,1	1798,2	20,1	2866,3	17,7	860,7	17,4	613,4	10,1	236,5	9,4	6970,2	12,6
6	229,0	2,7	196,5	2,3	1203,0	13,5	2265,3	14,0	458,1	9,3	204,9	3,4	77,8	3,1	4634,6	8,3
7	106,5	1,3	56,9	0,7	506,8	5,7	1007,6	6,2	60,0	1,2	56,8	0,9	49,2	2,0	1843,8	3,3
8	6,2	0,1	68,5	0,8	486,1	5,4	377,5	2,3	25,6	0,5	26,9	0,4	12,0	0,5	1002,8	1,8
9	0,7	-	37,4	0,5	86,7	1,0	83,6	0,5	3,2	0,1	13,2	0,2	-	-	224,8	0,4
10	246,6	2,9	57,3	0,7	66,6	0,7	16,2	0,1	2,7	0,1	-	-	-	-	389,4	0,7
Итого	8493,4	100	8416,9	100	8943,4	100	16190,0	100	4935,4	100	6077,5	100	2517,1	100	55573,7	100

*

Аналогично другим лесным районам в молодняках доля насаждений с участием ели в составе 3 единицы составляет 62,9 и 63,9%, что свидетельствует о потенциальной высокой перспективности рубок ухода за составом. Кроме того, перспективно и проведение выборочных рубок спелых и перестойных насаждений, в процессе которых можно увеличить долю ели в составе древостоев и тем самым перевести их из производных мягколиственных в коренные хвойные насаждения.

Более наглядную картину о распределении насаждений с участием ели в составе древостоев по классам возраста и лесным районам («ключевым» лесничеством) позволяют получить материалы, приведенные на рисунке 2.

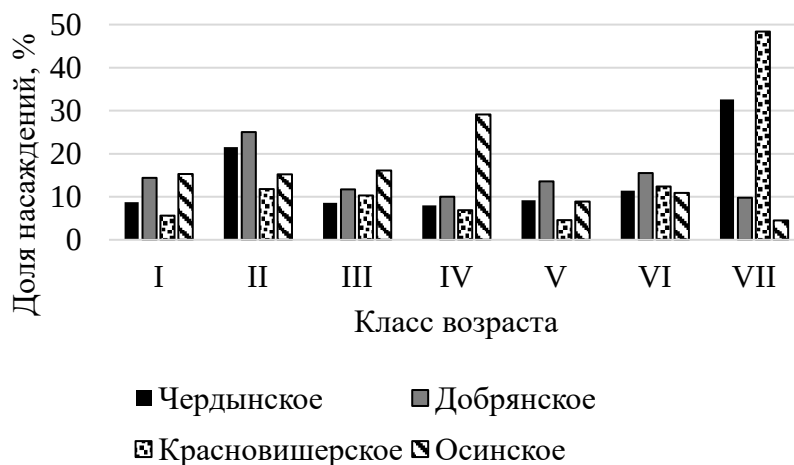


Рис. 2 – Доля насаждений с участием ели в составе древостоев в зависимости от класса возраста

Как следует из материалов рисунка 2 максимальная доля площади насаждений седьмого и старше классов возраста зафиксирована в Средне-Уральском (Красновишерское лесничество) и Западно-Уральском (Чердынское лесничество) таежных лесных районах.

В районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации (Осинское лесничество) доля спелых и перестойных насаждений с участием ели минимальна. Однако здесь зафиксирована максимальная доля приспевающих насаждений четвертого класса возраста.

Как уже отмечалось ранее, насаждения с конкретной долей участия ели в составе древостоев по лесным районам различаются несущественно (рис. 3).

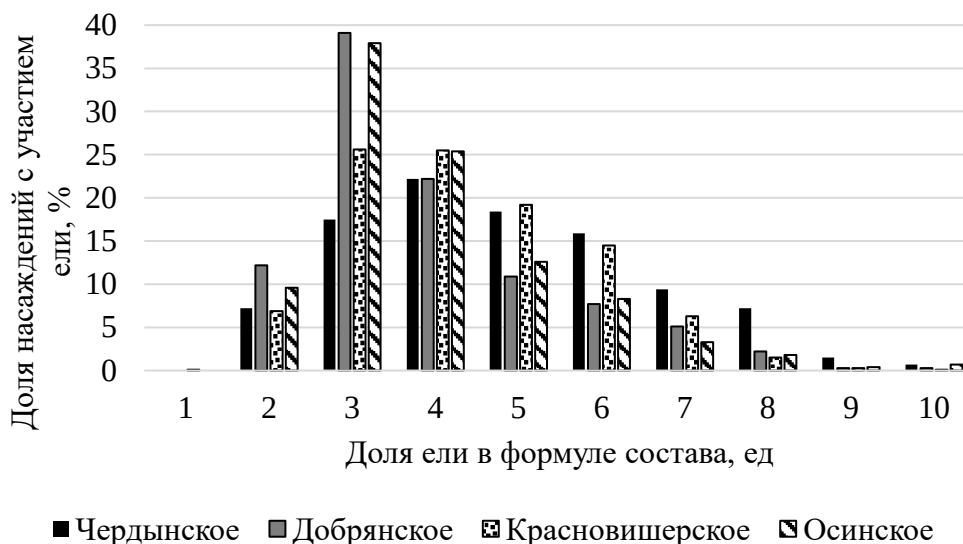


Рис. 3 – Доля насаждений с участием ели в составе древостоев в зависимости от состава древостоя

В целом по Пермскому краю зависимость площади насаждений с различной долей участия ели в формуле состава древостоев можно выразить уравнением с относительно высокой точностью (рис. 4).

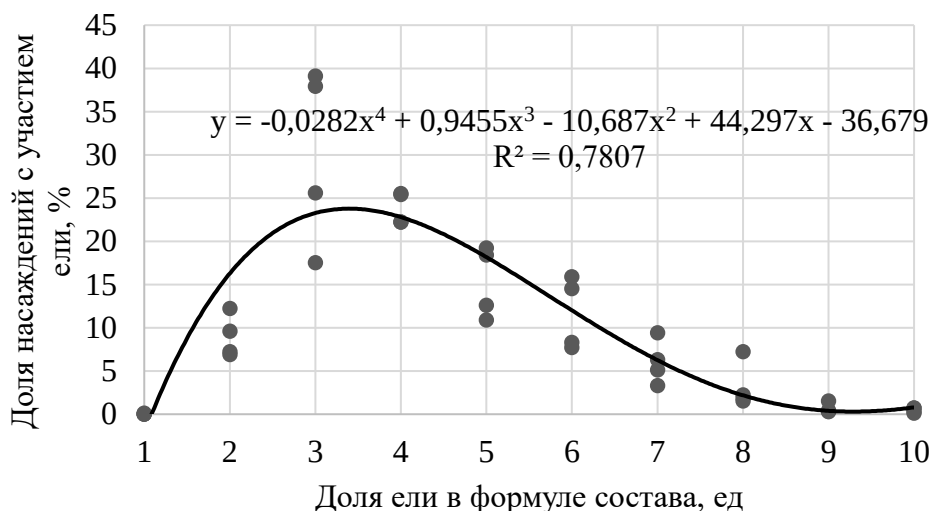


Рис. 4 – Доля насаждений с участием ели в составе древостоев в зависимости от состава древостоя по четырем лесничествам

Установленные зависимости позволяют оптимизировать планирование и проведение лесоводственных мероприятий, направленных на улучшение состава древостоев Пермского края и повышение их устойчивости.

Выводы

1. Ельники являются основной лесной формацией Пермского края. Однако из-за сплошнолесосечных рубок и лесных пожаров площадь еловых насаждений неуклонно сокращается.
2. Многообразие климатических и лесорастительных условий обуславливает распределение лесного фонда Пермского края на 4 лесных района.
3. Насаждения с участием ели в составе древостоев имеют место во всех лесных районах. В молодняках доминируют насаждения с примесью ели 3 единицы, а в насаждениях пятого и старше классов возраста 4 единицы формулы состава.
4. Наличие 2-4 единиц ели в формуле состава древостоев свидетельствует о высокой потенциальной эффективности рубок ухода и выборочных рубок спелых и перестойных насаждений в плане увеличения доли еловых насаждений в лесном фонде.
5. Формирование чистых ельников нецелесообразно по причине снижения устойчивости против неблагоприятных природных и антропогенных факторов.
6. Особенности распределения насаждений с участием ели в составе древостоев по лесным районам и классам возраста необходимо учитывать при планировании и проведении лесоводственных мероприятий.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Беляев Т.А. Ретроспективный анализ изменения площадей насаждений различных пород в лесном фонде Пермского края / Т.А. Беляев, З.Я. Нагимов, И.В. Шевелина и др. // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 4 (71). С. 10-17.
2. Казанцев С.Г. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала / С.Г. Казанцев, С.В. Залесов, А.С. Залесов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. 156 с.
3. Луганский Н.А. Повышение продуктивности лесов / Н.А. Луганский, С.В. Залесов, В.А. Щавровский. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад. 1995. 297 с.
4. Залесов С.В. Лесоводство / С.В. Залесов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.
5. Оплетаев А.С. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале / А.С. Оплетаев, С.В. Залесов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 178 с.
6. Рекомендации по проведению выборочных рубок в производных березняках Пермского края / С.В. Залесов, А.С. Попов, Л.А. Белов и др. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. 41 с.
7. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: Утв. Приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367.
8. Чермных А.И. Анализ таксационной базы данных с помощью SQZ-запросов в программе MAP INFO / А.И. Чермных, А.С. Оплетаев, С.В. Залесов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2013. Ч. 1. С. 130-131.
9. Чермных А.И. Анализ поведельной геобазы с использованием SQZ-запросов для определения статистически достоверной информации на примере ГИС MAPINFO / А.И. Чермных, А.С. Оплетаев // Леса России и хозяйство в них. 2013. № 1 (44). С. 53-54.
10. Иванчина Л.А. Влияние типа леса на устойчивость еловых древостоев Прикамья / Л.А. Иванчина, С.В. Залесов // Пермский аграрный вестник. 2017. № 1 (17). С. 38-43.

11. Иванчина Л.А. Влияние примеси лиственных пород в составе древостоев ельника зеленомошного на их устойчивость / Л.А. Иванчина, С.В. Залесов // Успехи современного естествознания, 2017. № 6. С. 61-66.

12. Ivanchina L.A. The effect of spruce plantation density on resilience of mixed forests in the Perm Krai / L.A. Ivanchina, S.V. Zalesov // Journal of Forest Science, 65. 2019 (7): 263-271.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Belyaev T.A. Retrospektivnyj analiz izmeneniya ploshchadej nasazh-denij razlichnyh porod v lesnom fonde Permskogo kraja [Retrospective analysis of changes in the areas of plantations of various species in the forest fund of the Perm Territory] / T.A. Belyaev, Z.YA. Nagimov, I.V. Shevelina et al. // Lesa Rossii i hozyajstvo v nih. 2019. № 4 (71). P. 10-17. [in Russian].

2. Kazancev S.G. Optimizaciya lesopol'zovaniya v proizvodnyh be-reznyakah Srednego Urala [Optimization of forest management in derivative birch forests of the Middle Urals] / S.G. Kazancev, S.V. Zalesov, A.S. Zalesov. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2006. 156 p. [in Russian].

3. Luganskij N.A. Povyshenie produktivnosti lesov [Increasing the productivity of forests] / N.A. Luganskij, S.V. Zalesov, V.A. SHCHavrovskij. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. akad. 1995. 297 p. [in Russian].

4. Zalesov S.V. Lesovodstvo [Forestry] / S.V. Zalesov. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2020. 295 p. [in Russian].

5. Opletaev A.S. Pereformirovanie proizvodnyh myagkolistvennyh nasazhdenij v listvennichniki na YUzhnom Urale [Reformation of derivative soft-leaved plantations into larch forests in the Southern Urals] / A.S. Opletaev, S.V. Zalesov. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2014. 178 p. [in Russian].

6. Rekomendacii po provedeniyu vyborochnykh rubok v proizvodnyh bereznyakah Permskogo kraja [Recommendations for selective felling in derivative birch forests of the Perm Territory] / S.V. Zalesov, A.S. Popov, L.A. Belov et al. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2017. 41 p. [in Russian].

7. Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossijskoj Federacii i Perechnya lesnykh rajonov Rossijskoj Federacii: Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 18.08.2014 g. № 367. On approval of the List of forest growing zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation: Approved. By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 18.08.2014 No. 367 [in Russian].

8. Chermnyh A.I. Analiz taksacionnoj bazy dannyh s pomoshch'yu SQZ-zaprosov v programme MAP INFO [Analysis of the taxation database using SQZ queries in the MAP INFO program] / A.I. Chermnyh, A.S. Opletaev, S.V. Zalesov // Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Ros-sii. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2013. Part. 1. P. 130-131. [in Russian].

9. Chermnyh A.I. Analiz povyd'el'noj geobazy s ispol'zovaniem SQZ-zaprosov dlya opredeleniya statisticheski dostovernoj informacii na primere GIS MAPINFO [Analysis of a populated geobase using SQZ queries to determine statistically reliable information using the example of GIS MAPIN-FO] / A.I. Chermnyh, A.S. Opletaev // Tesa Rossii i hozyajstvo v nih. 2013. № 1 (44). P. 53-54. [in Russian].

10. Ivanchina L.A. Vliyanie tipa lesa na ustojchivost' elovykh drevo-stoev Priam'ya [Influence of the type of forest on the stability of spruce stands of the Kama region] / L.A. Ivanchina, S.V. Zalesov // Permskij agrarnyj vest-nik. 2017. № 1 (17). P. 38-43. [in Russian].

11. Ivanchina L.A. Vliyanie primesi listvennykh porod v sostave drevostoev el'nika zelenomoshnogo na ih ustojchivost' [Influence of the admixture of deciduous species in the composition of the stands of the green-thick spruce forest on their stability] / L.A. Ivanchina, S.V. Zalesov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 2017. № 6. P. 61-66. [in Russian].

12. Ivanchina L.A. The effect of spruce plantation density on resilience of mixed forests in the Perm Krai / L.A. Ivanchina, S.V. Zalesov // Journal of Forest Science, 65. 2019 (7): 263-271.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.010>

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ НЕПРЕРЫВНОСТИ И НЕИСТОЩИТЕЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ НА АРЕНДУЕМОМ ЛЕСНОМ УЧАСТКЕ НА ТЕРРИТОРИИ СУХОЛОЖСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Суслов А.В.^{1,*}, Шестаков А.В.²^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (tacsator[at]mail.ru)

Аннотация

В статье уделяется особое внимание проблеме неистощительного и непрерывного лесопользования на арендованном лесном участке на территории Сухоложского лесничества Свердловской области. В работе указываются несовершенства лесного законодательства РФ в сфере использования лесов, связанные с возрастной структурой насаждений. Приведен анализ лесоводственно-таксационной характеристики лесного участка. Рассчитаны разные варианты ежегодных объемов заготовки древесины. В статье рассматриваются ежегодные объемы лесовосстановления разными способами. Смоделировано изменение соотношения площадей возрастных групп насаждений на срок арендных отношений. Проведен анализ непрерывного и неистощительного лесопользования на протяжении всего периода лесопользования. Предложены новые методики расчета заготовки древесины.

Ключевые слова: лесопользование, расчетная лесосека, неистощительное и непрерывное лесопользование, лесное законодательство, арендные отношения.

ENSURING THE PRINCIPLES OF CONTINUITY AND SUSTAINABLE USE OF FORESTS WHEN HARVESTING WOOD ON A LEASED FOREST PLOT ON THE TERRITORY OF THE SUKHOLOZHISKY FORESTRY OF SVERDLOVSK OBLAST

Research article

Suslov A.V.^{1,*}, Shestakov A.V.²^{1,2} Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (tacsator[at]mail.ru)

Abstract

The article pays special attention to the problem of sustainable and continuous forest management on a leased forest plot on the territory of the Sukholozhsky forestry of Sverdlovsk Oblast. The study points out the imperfections of the forest legislation of the Russian Federation in the field of forest use related to the age structure of plantings. The article also features an analysis of forestry and survey characteristics of the forest area. Different variants of annual volumes of wood harvesting are calculated. The article discusses the annual volumes of reforestation in different ways, models the change in the ratio of the areas of age groups of plantings for the term of lease relations, and carries out an analysis of continuous and sustainable forest management throughout the entire period of forest management. New methods of calculation of wood harvesting are proposed as well.

Keywords: forest management, estimated cutting area, sustainable and continuous forest management, forest legislation, lease relations.

Введение

Одним из главных принципов лесного законодательства является обеспечение многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощительного использования лесов для удовлетворения потребностей общества в лесах и лесных ресурсах. Запрещается использовать леса в количествах, ведущих к их истощению [3]. Однако в настоящее время в документах лесного планирования отмечаются завышенные объемы разрешенного пользования [9].

В современных условиях, основным лицом, осуществляющим заготовку древесины, является арендатор. Поэтому приобретает важное значение определение количества заготавливаемой древесины, обеспечивающего непрерывность и неистощительность использования лесов именно в границах арендованного лесного участка. Для решения этой задачи необходимо использовать системы сплошных и несплошных рубок [10].

Целью нашей работы является анализ существующих ежегодных объемов заготовки древесины и расчет новых для обеспечения принципов непрерывности и неистощительности лесов на лесном участке.

Объектом наших исследований является арендованный лесной участок, находящийся на территории Сухоложского лесничества общей площадью 4933,5 га. Объемы заготовки определены договором аренды 2010 года.

Для решения задачи определения непрерывного лесопользования целесообразно провести оценку существующих объемов использования и воспроизводства лесов. На основании проведенного анализа необходимо разработать новые методы расчёта объемов заготовки древесины. Важное значение будут иметь оценка и динамика возрастной структуры насаждений в течение арендных отношений.

Методы и принципы исследования

Ежегодный объем заготовки древесины определяли при исчислении расчетной лесосеки на основании приказа Рослесхоза от 27.05.2011 г. № 191 [5]. На арендованном лесном участке он указывается в договоре аренды.

На исследуемом нами объекте в 2019 г. были проведены работы по таксации лесов. На основании обновленных материалов лесоустройства мы рассчитали ежегодные объемы заготовки древесины разными способами с применением сплошных и выборочных рубок. Данные сравнили с договором аренды 2010 г. Схема проведения работ показана на рис.1.

Расчеты были выполнены отдельно по хозяйственным секциям. Хозсекция – это первичная расчетная единица. Основаниями для выделения служили преобладающая порода, бонитет, полнота и способ рубки [7, 8].

Под «непрерывным неистощительным лесопользованием» подразумевается возможность использования лесных ресурсов с постоянной высокой эффективностью на протяжении заданного промежутка времени (или бесконечно) [6]. В нашем случае срок определен договором аренды в 49 лет. При этом по окончании заданного промежутка времени лес не должен физически исчезнуть на занимаемых площадях.



Рис. 1 – Схема определения ежегодных объемов заготовки древесины

Для определения характера истощительности лесов мы вычисляли и прогнозировали на задаваемый период времени размер «расчетной лесосеки». Для этого использовали разработанный группой авторов новый подход и программу для исчисления объема пользования лесом для эксплуатационных лесов на основе имитационной модели динамики всей возрастной структуры насаждений – от начальных классов возраста («молодняки») до старших классов («спелые и перестойные») [2]. Программа позволяет моделировать изменения соотношения площадей возрастных групп насаждения и вычислять на этой основе объемы и площади изъятия лесных ресурсов и на основании этих данных проводить анализ непрерывного и неистощительного лесопользования на протяжении всего периода прогноза. Программа написана на языке JavaScript и размещена в открытом доступе в сети Интернет [1].

Число лет использования эксплуатационного фонда определялось делением площади спелых и перестойных насаждений на ежегодную расчетную лесосеку по площади.

Ежегодный объем и способ лесовосстановления определялся пропорционально ежегодной расчетной лесосеке при сплошных рубках в зависимости от наличия жизнеспособного подроста и молодняка главных лесных древесных пород [4].

Основные результаты

Особенности заготовки древесины главным образом определены характеристиками насаждений, их целевым назначением и выполняемыми функциями. Площадь, исследуемого нами участка, более чем на 90% представлена эксплуатационными лесами, особо защитные участки отсутствуют. Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика лесного участка

Преобладающая порода /состав насаждений	Площадь, га	Площадь спелых и перестойных, га	Средние таксационные показатели				
			возраст, лет	класс бонитета	Относительная полнота	запас насаждений на 1 га, куб. м.	
						покрытых лесами земель	спелых и перестойных
1	2	3	4	5	6	7	8
Сосна/5СЗБ2Ос	556,4	328,1	92	2,2	0,6	293	303
Ель/5Е1С2Б2ОС	9,7	-	26	2,1	0,7	66	0
Берёза/7Б2ОС1С	3843	3101	76	2,9	0,6	183	192
Осина/5ОС4Б1С	250,8	148,6	64	2,3	0,7	196	247
Всего/7Б2ОС1С	4659,9	3577,7	78	2,6	0,6	1696	206

На лесном участке значительно преобладают берёзовые насаждения, их средний возраст 76 лет, средний класс бонитета 3 и средняя полнота 0,6. Запас спелых и перестойных насаждений на 1 га составляет 192 куб. м. Здесь в

основном представлены разнотравные типы леса с отсутствием подроста главных пород. В целом лесной участок пригоден для заготовки древесины. Но при осуществлении заготовки древесины преимущественно в мягколиственном хозяйстве, возникает сложный трудоемкий процесс искусственного лесовосстановления хвойными породами. Поэтому для повышения лесоводственной эффективности и рентабельности ведения лесного хозяйства необходимо разрабатывать и сочетать разные системы сплошных и выборочных рубок.

Мы провели разные варианты расчетов. Полученные результаты сопоставили с договором аренды 2010 года. Сравнительный анализ представлен на графике (рис. 2). На лесном участке значительно преобладают спелые и перестойные насаждения, поэтому в основе расчетов при сплошных рубках лежит интегральная лесосека.

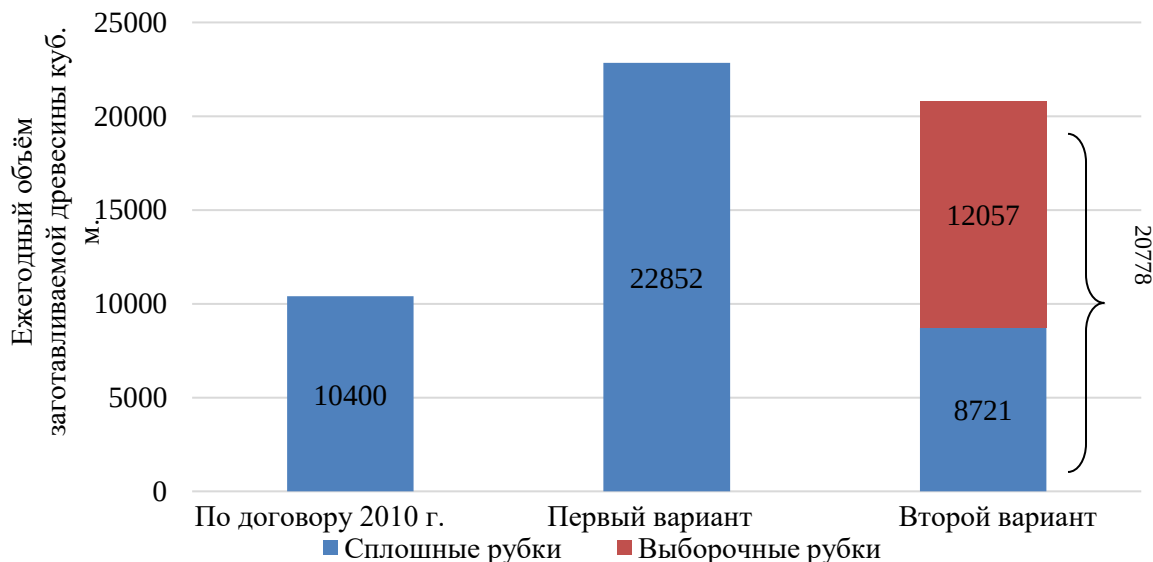


Рис. 2 – Ежегодные объёмы заготовки древесины

Примечание: первый вариант - заготовка древесины осуществляется только сплошными рубками; второй вариант - заготовка древесины осуществляется сплошными и выборочными рубками

Первый вариант подразумевает определение расчётной лесосеки при заготовке древесины только сплошными рубками. Ежегодная расчётная лесосека в данном случае составляет по площади: 132,0 га, по запасу 22852 куб. м.

Второй вариант основывается на заготовке древесины сплошными и выборочными рубками. Сплошные рубки проектировались в низкобонитетных и низкополнотных насаждениях, а выборочные в высокополнотных и высокобонитетных насаждениях. Ежегодная расчётная лесосека по площади составила 327,2 га (из них при сплошных рубках – 54,7 га, при выборочных рубках – 272,5 га), по запасу 20 778 куб.м. (из них при сплошных рубках – 8721 куб. м., при выборочных – 12057 куб. м.).

Данные на рис.2 показывают, что таксация 2019 года позволила более чем в два раза увеличить ежегодный объём заготовки древесины. Разница между применением сплошных или выборочных рубок по запасу незначительна (2074 куб.м). Но во втором варианте площадь заготовки увеличивается на 195,2 га.

Лесовосстановление тесно связано с заготовкой древесины. Разные варианты расчетов ежегодных объемов по воспроизводству лесов показаны на рис.3

При принятии расчётной лесосеки только при сплошных рубках значительно возрастают объёмы лесовосстановления по сравнению с договором аренды 2010 г. При этом варианте объёмы по воспроизводству лесов составят 132 га. Из них около 80 % – искусственное лесовосстановление. При вырубке древостоя преимущественно по мягколиственному хозяйству целесообразность заготовки древесины резко снижается.

Во втором варианте, при выборочных рубках ежегодное лесовосстановление составляет 54,3 га. Учитывая преобладание берёзовых насаждений и высоких затрат на лесовосстановление арендатором был принят этот вариант.

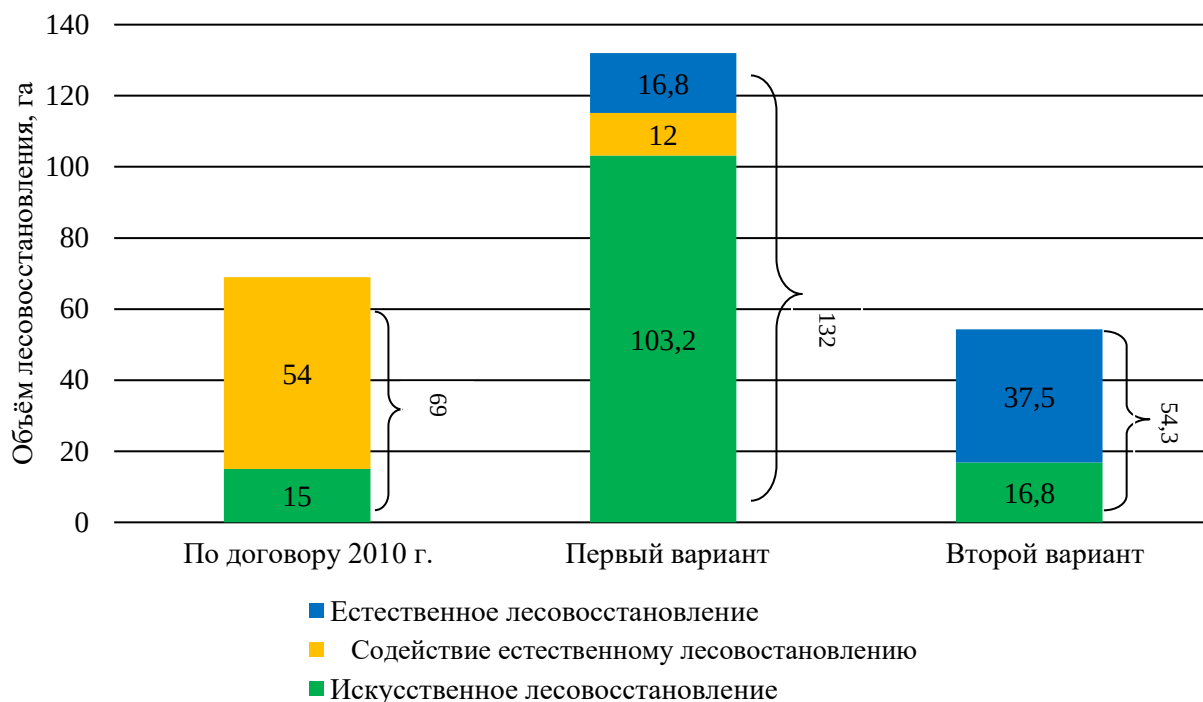


Рис. 3 – Ежегодные объемы по воспроизводству лесов

С целью оценки неистощительности лесов мы смоделировали изменение возрастной структуры насаждений при заготовке древесины сплошными рубками (рис 4).

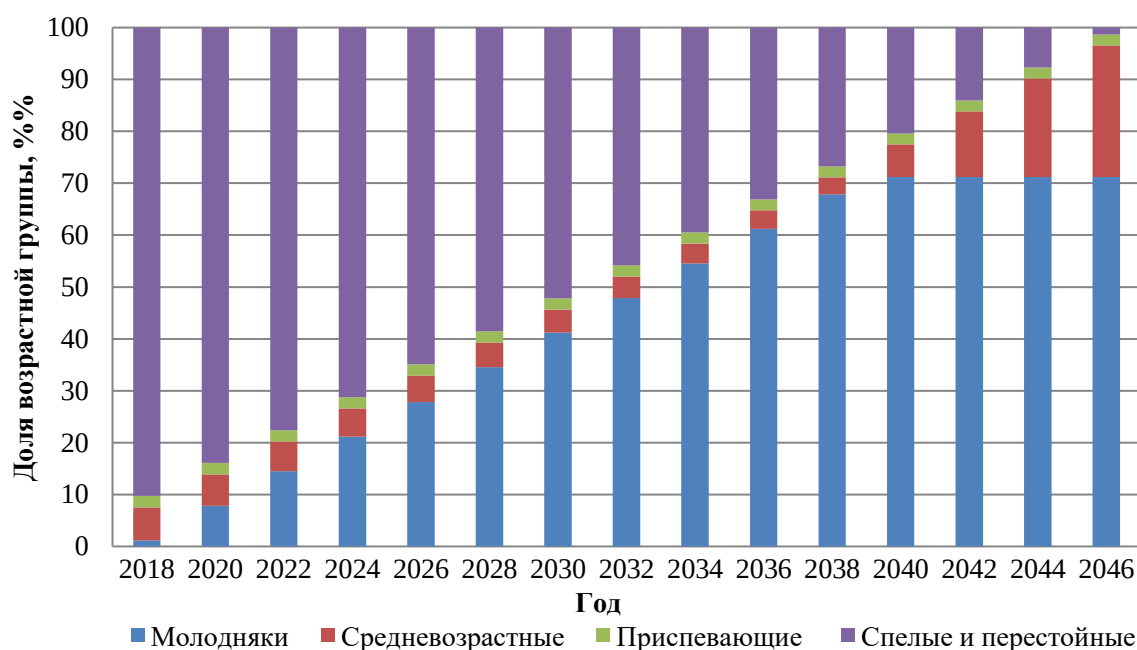


Рис. 4 – Динамика возрастной структуры при первом варианте пользования

Данные на диаграмме наглядно показывают истощительный характер использования лесного участка. На графике видно, как происходит стремительное уменьшение эксплуатационного фонда. По факту к концу арендных отношений спелые и перестойные насаждения практически будут отсутствовать. Ориентировочно через 15-20 лет заготовка древесины будет не рентабельна.

Таким образом, на лесном участке при действующих нормативно-правовых документах и методиках расчета нарушается один из главных принципов лесного кодекса о непрерывном и неистощительном использовании лесов.

Решение данного вопроса мы видим в следующем: во-первых, обязать арендаторов проводить каждые 10 лет таксацию или лесоустройство с перерасчетом объемов заготовки древесины, или, во-вторых, изменять действующие методики расчета лесосек.

Для обеспечения непрерывности использования лесов необходимо чтобы на лесном участке были представлены относительно равномерно насаждения всех возрастных групп. Расчетная лесосека должна быть именно такой, которая обеспечит наличие молодых, средневозрастных, приспевающих и спелых насаждений к концу срока аренды. С этой целью мы предлагаем внести изменения в формулу расчета интегральной лесосеки.

$$L_{интS} = (0,4 \times (S_m + S_{cp}) + 0,6 \times S_{2cp} + 0,8 \times S_{3cp} + 1,1 \times S_{пр} + 1,4 \times (S_{сп+пер})) \times 0,01$$

Обозначения, принятые в формуле:

$S_{сп+пер}$ - площадь спелых и перестойных лесных насаждений;

$S_{пр}$ - площадь приспевающих лесных насаждений;

S_{cp} - площадь классов возраста средневозрастных лесных насаждений, включенных в расчет при исчислении лесосеки;

S_m - площадь молодняков;

S_{2cp} - площадь средневозрастных лесных насаждений второго класса возраста;

S_{3cp} - площадь средневозрастных лесных насаждений последнего класса возраста;

Мы подобрали коэффициенты таким образом, чтобы к концу срока аренды достичь относительно нормальное распределение по группам возраста. Интегральная лесосека взята потому, что на лесном участке, в настоящее время, значительно преобладают спелые и перестойные насаждения.

По результатам наших расчетов ежегодный объем заготовки составит 45,5 га по площади и 8499 куб. м. по запасу. Это меньше чем при первом и втором варианте расчетной лесосеки на 86,5 и 281,7 га по площади и на 14353 и 12279 куб. м. по запасу соответственно.

Изменение возрастной структуры берёзовых насаждений к концу срока аренды или к моменту истощения эксплуатационного фонда представлены на рис 5.

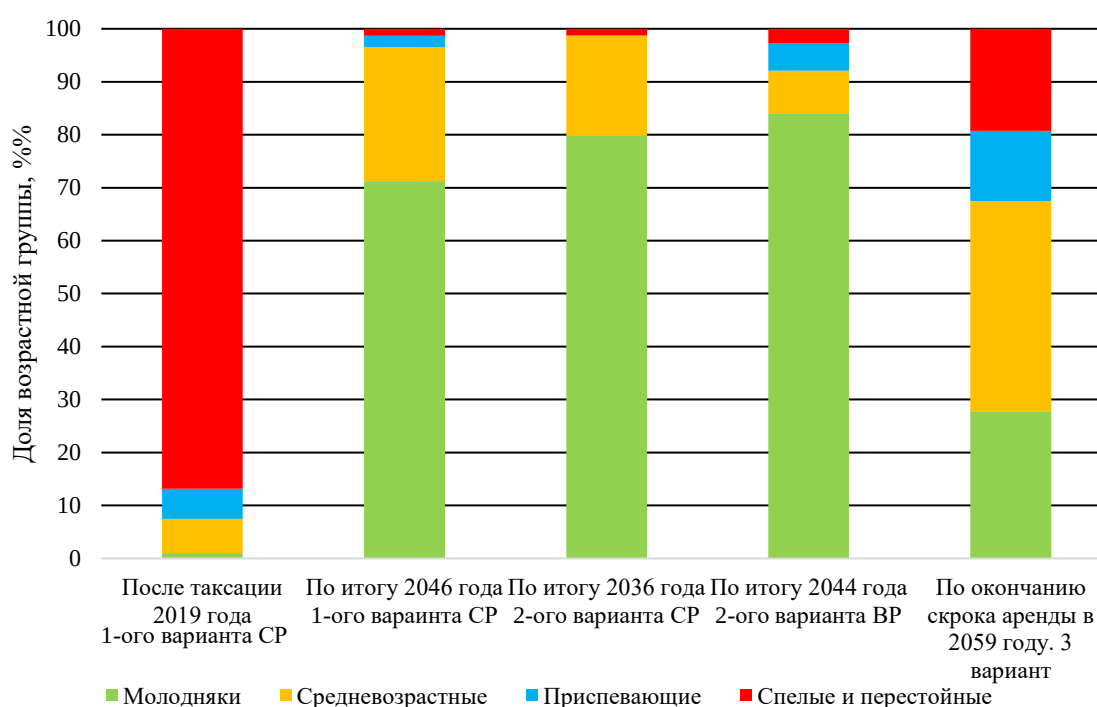


Рис. 5 – Возрастная динамика берёзовых насаждений при разных вариантах заготовки древесины

Примечание: CP - сплошные рубки; BP – выборочные рубки;

1-ый вариант – только CP по площади 132,0 га и по запасу 22852 куб. м ежегодно; 2-ой вариант – сочетание CP и BP по площади 327,2 и по запасу 20778 куб. м. ежегодно; МЗ-ий вариант – по изменённой методике расчёта, предложенной нами

Действующее законодательство не обязывает арендатора проводить таксацию каждый ревизионный период, поэтому мы исходили из того, что данные лесоустройства 2019 года будут действовать на весь срок аренды.

На графике рисунка 5 видно, что таксация 2019 года показала чрезмерное накопление спелых и перестойных насаждений в результате заниженных объемов заготовки древесины по договору аренды 2010 года. Оба варианта с применением сплошных и выборочных рубок показали истощительный характер лесопользования. В первом варианте (при принятии в расчет только сплошных рубок) эксплуатационный фонд закончится в 2046 году, во втором варианте при заготовке сплошными рубками – в 2036 году, выборочными – в 2044 году. При этом договор аренды заключен на 49 лет, до 2059 года. В предлагаемом нами варианте расчета эксплуатационный фонд к концу арендных отношений не истощается, при этом наблюдается относительно нормальное распределение насаждений по группам возраста.

Заключение

Проведенные нами исследования на арендованном лесном участке показали истощительный характер лесопользования. Действующее лесное законодательство в сфере использования лесов не отвечает основным принципам лесного кодекса. Складывается уникальная ситуация, лесопользователь берет в аренду участок с преобладанием спелых и перестойных насаждений, а государству может передать истощенный с наличием большого лесоводственного фонда, требующего проведения затратных лесохозяйственных мероприятий. Для решения этих задач,

необходимо менять методики расчёта или в обязательном порядке проводить таксацию или лесоустройство каждый ревизионный период с перерасчетом объемов заготовки.

На исследуемом нами участке при заготовке древесины сплошными рубками спелые и перестойные насаждения заканчиваются к 2036 году, при сочетании сплошных и выборочных рубок к 2044 году.

Применение сплошных и выборочных рубок позволяет уменьшить объемы по воспроизводству лесов.

Предлагаемые нами методы расчёта позволяют обеспечить выполнение принципов непрерывного и неистощительного использования лесов. К концу арендных отношений наблюдается относительное нормальное распределение насаждений по возрастным группам.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Калькулятор объёмов пользования. – [Электронный ресурс]. URL: <https://hcvf.ru/lesoseka2/> (дата обращения: 15.08.2021).
2. Коросов А. В. О разработке нового подхода для исчисления параметров расчетной лесосеки неистощительного пользования / А. В. Коросов, А. В. Родионов, В. Е. Голубев и др. // Принципы экологии. 2014. Т. 3. № 2. С. 4–20.
3. Лесной кодекс Российской Федерации: федеральный закон: [принят Государственной Думой 08.11.2006: одобрен Советом Федерации 24.11.2006 (ред. от 04.02.2021)]. [Электронный ресурс]. URL.: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения 14.02.2021).
4. Приказ Минприроды России от 04.12.2020 № 10 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_371824/ (дата обращения 14.02.2021).
5. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 27.05.2011 г. № 191 «Об утверждении порядка исчисления расчетной лесосеки». – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/185> (дата обращения 20.08.2021).
6. Сеницын С. Г. Хозяйственное воплощение принципа непрерывного, неистощительного лесопользования / С.Г. Сеницын // «Лесное хозяйство», 1980, № 1.
7. Суслов А.В. Лесоустройство: учебное пособие / А.В. Суслов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 123 с.
8. Суслов А.В. Лесоустроительное проектирование: учеб. пособие / А.В. Суслов и др. // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. – 90 с
9. Шварц Е. Некоторые причины кризиса лесного сектора и пути выхода из него / Е. Шварц, Н. Шматов, К. Кобыков // Устойчивое лесопользование : научный журнал. - Москва : Всемирный фонд дикой природы, 2018. – № 3 (55). - 48 с. - ISSN 2308-541X. - [Электронный ресурс]. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1042387> (дата обращения: 29.08.2021)
10. Ягодин, Е. С. Характеристика лесных ресурсов Свердловской области и обоснование способов рубок / Е. С. Ягодин, И. Д. Гвоздев; рук. В. А. Азаренок // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, и конкурса по программе «Умник» / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т, Урал. отделение секции наук о лесе Рос. Акад. естеств. наук, Урал. леснойтехнопарк. – Екатеринбург, 2017. – С. 48–49.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kal'kuljator ob'jomov pol'zovanija [Calculator of Usage Volumes]. [Electronic resource] – URL: <https://hcvf.ru/lesoseka2/> (accessed: 15.08.2021). [in Russian]
2. Korosov A. V. O razrabotke novogo podhoda dlja ischislenija parametrov raschetnoj lesoseki neistoshitel'nogo pol'zovanija [On the Development of a New Approach for Calculating the Parameters of a Calculated Cutting Area of Sustainable Use] / A. V. Korosov, A. V. Rodionov, V. E. Golubev et al. // Principy jekologii [Principles of Ecology]. 2014. Vol. 3. № 2. pp. 4–20. [in Russian]
3. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii: federal'nyj zakon: prinjat Gosudarstvennoj Dumoj 08.11.2006: odobren Sovetom Federacii 24.11.2006 (red. ot 04.02.2021) [Forest Code of the Russian Federation: Federal Law: Adopted by the State Duma 08.11.2006: Approved by the Federation Council 24.11.2006 (04.02.2021 edition)]. [Electronic resource] URL.: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 14.02.2021). [in Russian]
4. Prikaz Minprirody Rossii ot 04.12.2020 № 10 «Ob utverzhenii Pravil lesovosstanovlenija, sostava proekta lesovosstanovlenija, porjadka razrabotki proekta lesovosstanovlenija i vnesenija v nego izmenenij» [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia From 04.12.2020 No. 10 “On Approval of Rules for the Reforestation of the Reforestation Project, About the Development of a Reforestation Project and Making Changes”] [Electronic resource] URL.: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_371824/ (accessed 14.02.2021). [in Russian]
5. Prikaz Federal'nogo agentstva lesnogo hozjajstva ot 27.05.2011 g. № 191 «Ob utverzhenii porjadka ischislenija raschetnoj lesoseki» [Order of the Federal Forestry Agency No. 191 Dated 27.05.2011 “On Approval of the Procedure for Calculating the Estimated Cutting Area”]. [Electronic resource] URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/185> (accessed 20.08.2021). [in Russian]
6. Sinicyn S. G. Hozjajstvennoe voploshhenie principa nepreryvnogo, neistoshitel'nogo lesopol'zovanija [Economic Embodiment of the Principle of Continuous, Sustainable Forest Management] / S.G. Sinicyn // «Lesnoe hozjajstvo» [“Forestry”], 1980, № 1. [in Russian]

7. Suslov A.V. Lesoustrojstvo: uchebnoe posobie [Forest Management: Textbook] / A.V. Suslov // - Ekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2016. – p. 123 [in Russian]
8. Suslov A.V. Lesoustroitel'noe proektirovanie: ucheb. posobie [Forest Management Design: Textbook] / A.V. Suslov, I.S. Sal'nikova, A.A. Grigor'ev et al. // Ministerstvo nauki i vysshego obrazovanija Rossijskoj Federacii, Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet. – Ekaterinburg: UGLTU, 2021. – p. 90 [in Russian]
9. Shvarc E. Nekotorye prichiny krizisa lesnogo sektora i puti vyhoda iz nego [Some Causes of the Crisis of the Forest Sector and Ways Out of It] / E. Shvarc, N. Shmatkov, K. Kobjakov // Ustojchivoe lesopol'zovanie : nauchnyj zhurnal [Sustainable Forest Management: A Scientific Journal]. - Moskva : Vsemirnyj fond dikoj prirody, 2018. – № 3 (55). - p. 48 - ISSN 2308-541X. - [Electronic resource] - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1042387> (accessed: 29.08.2021) [in Russian]
10. Jagodin, E. S. Harakteristika lesnyh resursov Sverdlovskoj oblasti i obosnovanie sposobov rubok [Characteristics of Forest Resources of the Sverdlovsk Region and Justification of Logging Methods] / E. S. Jagodin, I. D. Gvozdev; Edited by V. A. Azarenok // Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: mater. XIII Vseros. nauch.-tehn. konf. studentov i aspirantov, i konkursa po programme «Umnik» [Scientific Creativity of Youth - To the Forest Complex of Russia: Proceedings of XIII All-Russian Scientific-Technical Conference Of Students and Postgraduates, and the Competition Under the Program “Umnik”] / M-vo obrazovanija i nauki RF, Ural. gos. lesotehn. un-t, Ural. otdelenie sekcii nauk o lese Ros. Akad. estestv. nauk, Ural. lesnojtehnopark. – Ekaterinburg, 2017. – pp. 48–49. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.011>**БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ
И ИХ СВЯЗЬ С ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ КАЧЕСТВАМИ**

Научная статья

Щербаков Ю.С.¹, Тыщенко В.И.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0001-6434-6287;² ORCID: 0000-0003-4964-9938;

^{1,2} Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных - филиал Федерального исследовательского центра животноводства - ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста (ВНИИГРЖ), Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (tinatvi[at]mail.ru)

Аннотация

Истощение природных рыбных ресурсов стимулирует выращивание рыбы в аквакультуре. Важной экономической составляющей современной аквакультуры является использование новых, быстрорастущих и устойчивых к заболеваниям пород радужной форели как одного из видов рыб семейства лососевых. Оценка росто-весовых показателей является важной составной частью селекционной работы. Полученные данные позволяют также удалить из дальнейшего воспроизводства особей с нежелательными отклонениями в росте и развитии. Отдельные показатели могут быть сцепленными и это надо учитывать в подборе пар производителей. В работе приведены данные по использованию современных статистических подходов для анализа результатов бонитировки особей радужной форели. Наблюдается сильная связь между показателями масса тела, масса икры, высота тела и толщина тела. Показатель количества икринок в 5 граммах очень слабо связан со всеми другими признаками.

Ключевые слова: радужная форель, *Oncorhynchus mykiss*, бонитировка.

**BIOMETRIC INDICATORS OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE RAINBOW TROUT AND THEIR
RELATION TO ITS REPRODUCTIVE QUALITIES**

Research article

Shcherbakov Yu.S.¹, Tyshchenko V.I.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0001-6434-6287;² ORCID: 0000-0003-4964-9938;

^{1,2} All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals, branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (VNIIGRZh), St. Petersburg-Pushkin, Russia

* Corresponding author (tinatvi[at]mail.ru)

Abstract

The depletion of natural fish resources stimulates the cultivation of fish in aquaculture. An important economic component of modern aquaculture is the use of new rapidly emerging and disease-resistant breeds of rainbow trout as one of the fish species of the Salmonids. The evaluation of height and weight indicators is an important part of selection. The obtained data also make it possible to remove the fish with undesirable deviations in growth and development from further reproduction. Individual indicators may be linked and this should be taken into account in selecting pairs of manufacturers. The study presents data on the use of modern statistical approaches to analyze the results of the valuation of rainbow trout. There is a strong relationship between body mass, roe, body height and body thickness. The indicator of the number of eggs in 5 grams is very poorly related to all other signs.

Keywords: rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, valuation.

Введение

Молекулярно-генетические исследования геномов сельскохозяйственных животных позволили разработать ряд методов, ускоряющих селекционную работу. Введение в практику методов выявления полиморфизмов в генах [1], [2], детекции генетических аномалий [3], [4] и выявления сцепления маркеров с продуктивными признаками [5] дает возможность исключить особей с нежелательными генотипами из дальнейшего воспроизводства. Активно развиваются также биотехнологические подходы в аквакультуре, такие как подбор эффективных штаммов бактерий, удаляющих органический азот в воде [6] и генетическая паспортизация полезных бактерий, используемых в сельском хозяйстве [7].

Аквакультура является активно развивающейся отраслью сельского хозяйства [8] и генетическим исследованиям рыб уделяется особое внимание [9]. Показатели роста и развития являются одними из самых важных экономических показателей для рыбоводческих хозяйств. Мясо лососевых является ценным пищевым продуктом. Селекция потомства рыб путем индивидуального отбора по массе тела может способствовать улучшению показателей темпа роста и сократить затраты хозяйств. В результате достигается сокращение сроков выращивания рыбы до товарного размера, что значительно увеличивает прибыль хозяйства [10], [11]. Порода ропшинская золотая выводилась в условиях Северо-Запада России, где среднегодовая температура воды 6-8°C. Для выведения радужной форели этой породы использовались особи радужной форели породы росталь и рофор. Проводился массовый отбор по окраске тела и благодаря систематическому отбору особей с окраской ярко-желтого цвета удалось создать маточные стада форели желтой окраски [12]. Проведение нерестовых бонитировочных мероприятий производителей является неотъемлемой частью разведения рыб, так как на основе полученных данных проводится отбор и подбор особей для дальнейшей селекции. Благодаря этому в породе закрепляются необходимые признаки и удается избежать накопления нежелательных мутаций и аномалий развития у потомства [3].

Цель работы: провести исследование метрических и репродуктивных показателей у радужной форели породы ропшинская золотая.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- снять размерно-весовые и репродуктивные показатели у производителей радужной форели породы ропшинская золотая
- провести статистический анализ полученных данных
- провести анализ главных компонентов, на основе полученных данных

Методы исследования

Сбор материала проводился на базе Федерального селекционно-генетического центра рыбоводства, который расположен в поселке Ропша Ленинградской области. Объектом исследования служила популяция производителей радужной форели породы ропшинская золотая, в возрасте трех лет. Для уменьшения шансов травмировать производителей, их сначала выдерживали в слабом растворе гвоздичного масла, чтобы рыба «уснула». Затем с помощью мерной доски снимались метрические показатели. С 18 самок и 18 самцов были сняты размерно-весовые показатели (масса тела, длина тела по Смиуту, длина до конца чешуйчатого покрова, длина головы, высота тела, толщина тела). С самцов также были сняты такие показатели как объем эякулята и подвижность спермы (в секундах), а с самок – масса икры и количество икринок в 5 граммах. Полученные данные были статистически обработаны с использованием пакета *Excel* и занесены в таблицу. Сравнение средних величин проводилось с использованием критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$. Коэффициент изменчивости (CV, %) рассчитывался по формуле:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100\%$$

где $\bar{x}$ – среднее значение показателя; σ – стандартная отклонение.

Анализ главных компонентов проводили в программе *Rstudio v. 4.1.0* с помощью библиотек *GGally*, *dplyr* и *ggbiplot*. Пакет *dplyr* использовался для структуризации данных, а *GGally* и *ggbiplot* для расчета и визуализации полученных результатов.

Результаты

В таблице 1 представлены расчеты средних величин показателей и коэффициента CV у самок и самцов радужной форели породы ропшинская золотая.

Таблица 1 – Размерно-весовые и репродуктивные показатели самок и самцов ропшинской золотой форели.

Показатель	Самки		Самцы	
	Среднее значение	CV, %	Среднее значение	CV, %
Масса, г.	2051,39±74,01	15,31	1405,28±57,86	17,47
Длина тела по Смиуту, см.	50,39±0,73	6,12	46,54±0,65	5,92
Длина тела до конца чешуйчатого покрова, см.	46,69±0,66	6,03	42,76±0,65	6,43
Длина головы, см.	9,46±0,13	5,91	10,64±0,16	6,35
Высота тела, см.	14,04±0,21	6,49	11,84±0,17	6,04
Толщина тела, см.	6,25±0,13	9,07	5,10±0,11	8,15
Масса икры, г	294,67±13,14	18,92	–	–
Количество икринок в 5 граммах	80,39±2,74	14,48	–	–
Объем эякулята, мл.	–	–	9,76±1,81	78,53
Подвижность, сек.	–	–	31,67±083	11,15

В представленной таблице видно, что наиболее изменчивыми из метрических показателей являются масса тела рыб (самки 2051,39±74,01, CV-15,31, самцы 1405,28±57,86, CV-17,47). У самцов показатель объем эякулята имеет очень высокую изменчивость (9,76±1,81, CV-78,53). У самок показатели масса икры и количество икры в 5 граммах также имеют высокую изменчивость (294,67±13,14, CV-18,92 и 80,39±2,74, CV-14,48).

На основании полученных данных были построены диаграммы рассеяния для каждой пары фенотипических признаков у самок и самцов. С помощью библиотеки *GGally* в программе *Rstudio* были построены следующие графики (Рис. 1 и 2). Так как наши данные имеют разные единицы измерения и разный разброс, необходимо было стандартизировать показатели. На данных графиках представлены нормальность распределения показателей, диаграмма рассеяния и корреляция.

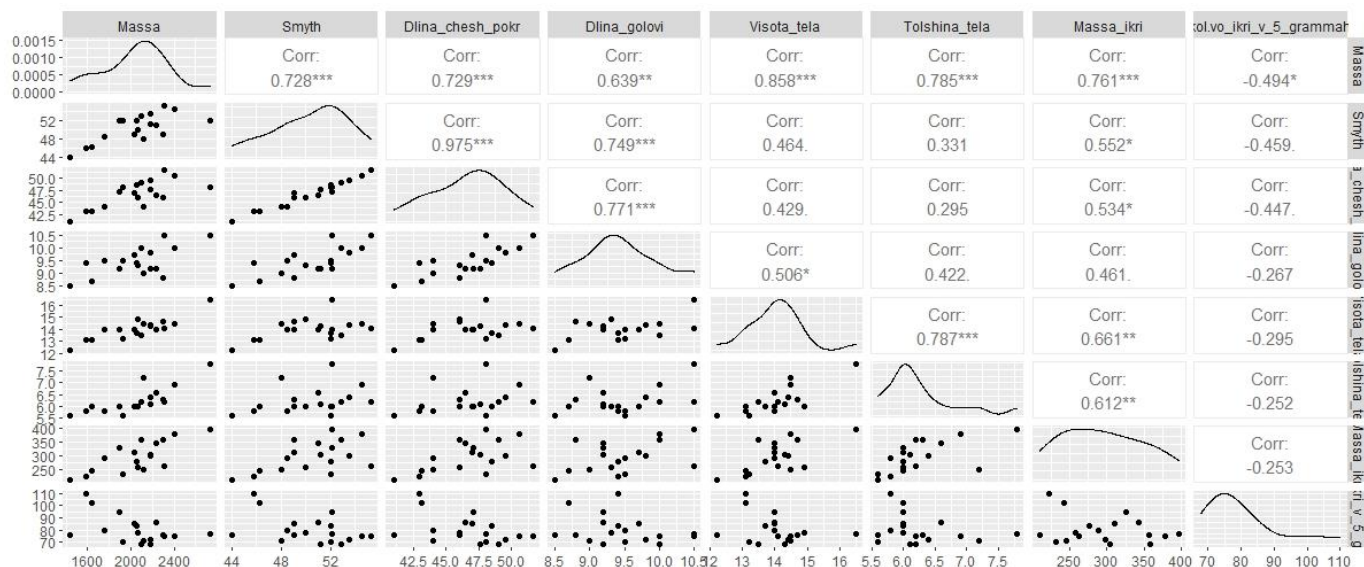


Рис. 1 – Матрица рассеяния показателей самок

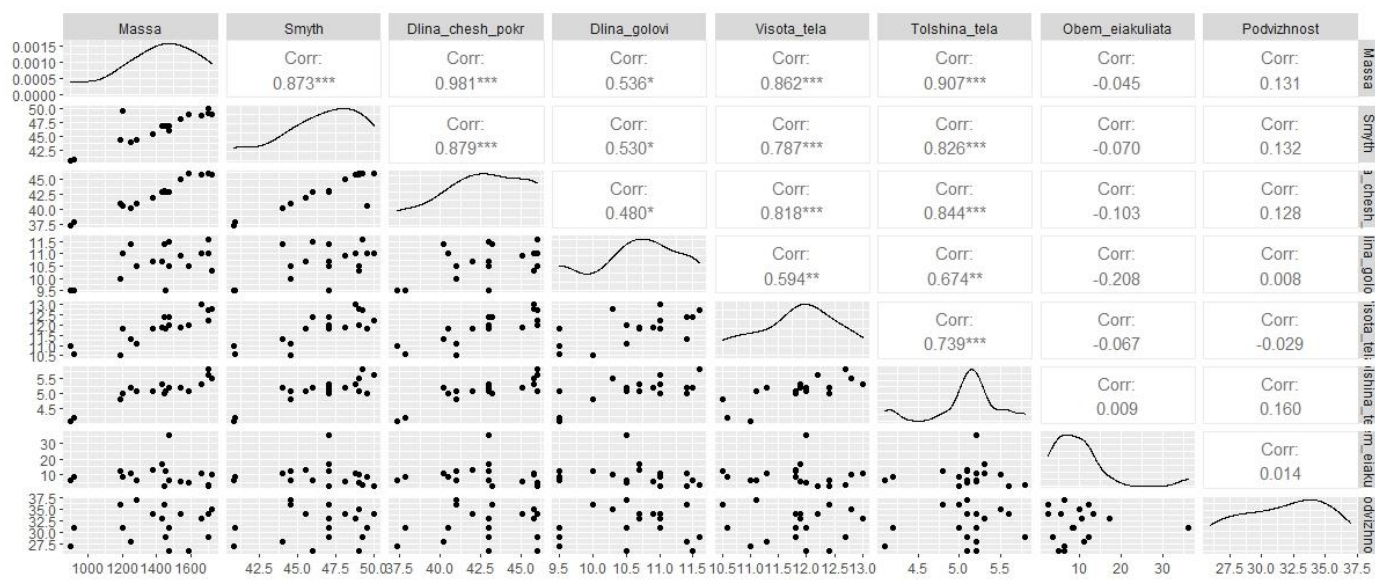


Рис. 2 – Матрица рассеяния показателей самцов

Далее был построен график визуализации главных компонент, используя библиотеку *ggbiplot* в *Rstudio* отдельно для самок и самцов (Рис. 3 и 4).

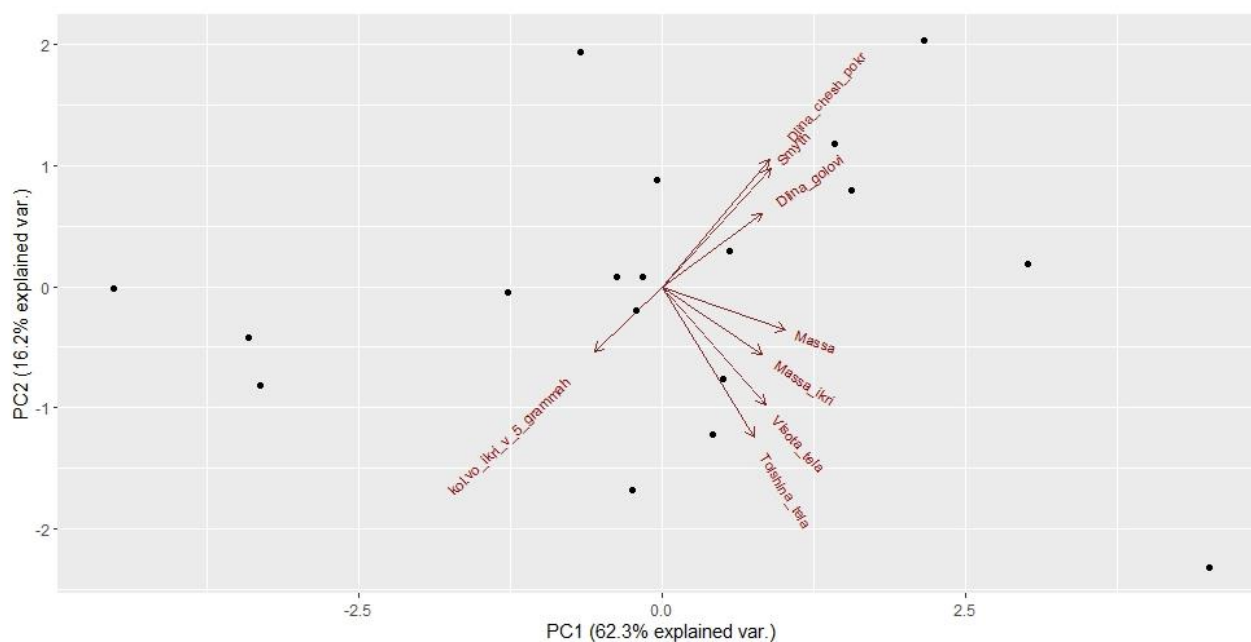


Рис. 3 – Визуализация главных компонент у самок

На графике изображены векторы, соответствующие переменным (показателям): «длина тела по Смиуту», «длина тела до конца чешуйчатого покрова», «длина головы», «высота тела», «толщина тела», «масса тела», у самок «масса икры» и «количество икринок в 5 граммах», у самцов – «объем эякулята» и «подвижность». По осям X и Y расположены две первые (наиболее информативные) главные компоненты. На рисунке 3 видно, что между векторами «длина до конца чешуйчатого покрова» и «масса икры» угол около 90° , что означает минимальную связь между показателями. Следует отметить, что угол между показателями «длина головы», «длина тела по Смиуту» и «длина тела до конца чешуйчатого покрова» минимален, следовательно, связь между этими признаками сильная и корреляция положительная. Так же наблюдаются сильная связь и положительная корреляция у показателей «масса», «масса икры», «высота тела» и «толщина тела». Показатель количество икринок в 5 граммах очень слабо связан со всеми остальными изученными показателями.

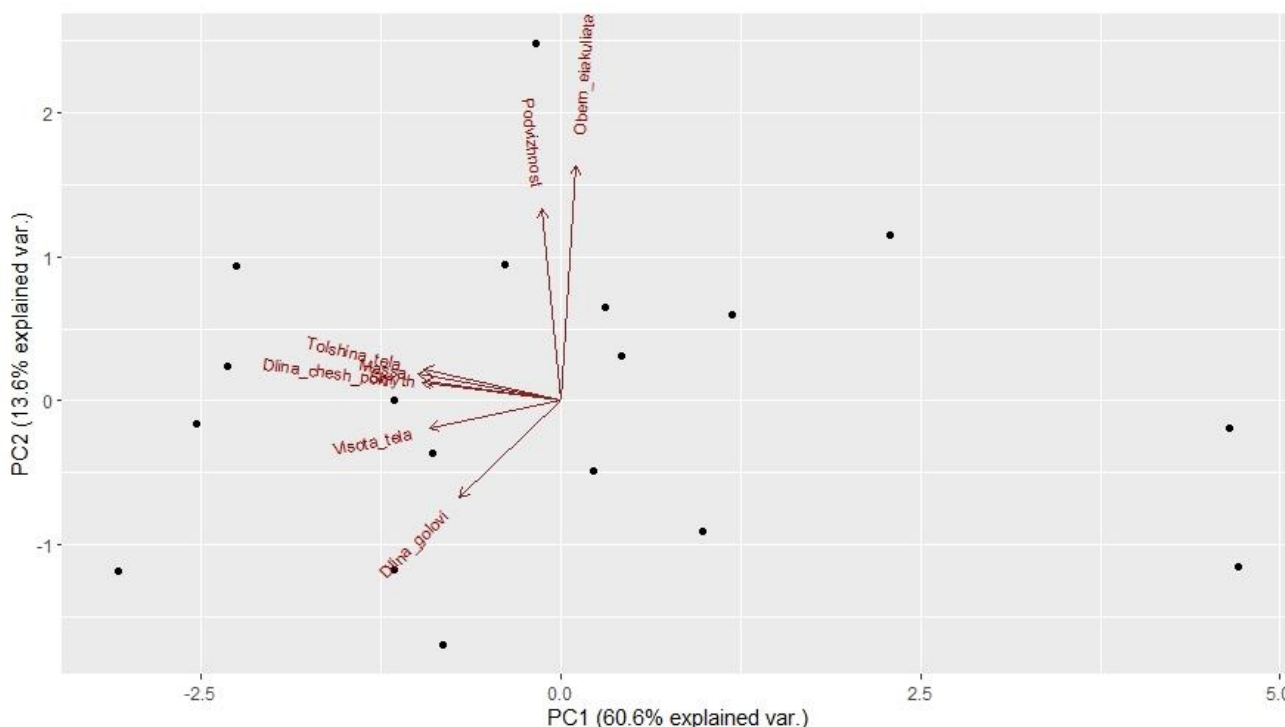


Рис. 4 – Визуализация главных компонент у самцов

У самцов векторы «объем эякулята» и «подвижность» сонаправлены с осью второй главной компоненты, следовательно, между ними сильная положительная связь (это объясняет высокий коэффициент изменчивости данных показателей). Также они имеют наибольшую зависимость от данной компоненты, т.к. они имеют наибольшую длину. Показатели «толщина тела», «масса тела», «длина до конца чешуйчатого покрова» и «длина тела по Смиуту» имеют сильную связь и положительную корреляцию. Так же «высота тела» и «длина головы» слабо связаны с показателями подвижности сперматозоидов и объема эякулята.

Заключение

В результате исследования было обнаружено, что наиболее изменчивыми из метрических показателей являются масса тела рыб (самки $2051,39 \pm 74,01$, CV-15,31, самцы $1405,28 \pm 57,86$, CV-17,47). У самцов показатель «объем эякулята» имеет очень высокую изменчивость ($9,76 \pm 1,81$ CV-78,53). У самок показатели «масса икры» и «количество икринок в 5 граммах» также имеют высокую изменчивость ($294,67 \pm 13,14$, CV-18,92 и $80,39 \pm 2,74$, CV-14,48, соответственно). У самцов показатели «толщина тела», «масса тела», «длина до конца чешуйчатого покрова» и «длина тела по Смиуту» имеют сильную связь и положительную корреляцию. В то же время «высота тела» и «длина головы» слабо связаны с показателями подвижности спермы и объемом эякулята. У самок показатели «длина до конца чешуйчатого покрова» и «масса икры» имеют минимальную связь. Между признаками «длина головы», «длина тела по Смиуту» и «длина до конца чешуйчатого покрова» показана сильная связь и положительная корреляция. Так же наблюдаются сильная связь и положительная корреляция у показателей «масса тела», «масса икры», «высота тела» и «толщина тела». Показатель «количество икринок в 5 граммах» очень слабо связан со всеми остальными показателями.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-316-90020 (Щербakov Ю.С.) и ГЗ № 0445-2021-0010 (Тыщенко В.И.).

Funding

The research was completed under financial support of RFBR under project No 20-316-90020 (Shcherbakov Yu.S.) and State Assignment No 0445-2021-0010 (Tyshchenko V.I.).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Яковлев А. Влияние рецептора гормона роста на хозяйственные признаки птицы / А. Яковлев, В. Терлецкий, А. Сексте и др. // Птицеводство. – 2013. – № 1. – С. 2–6.
2. Mitrofanova O.V. Association of Polymorphic Variants in MSTN, PRL, and DRD2 Genes with intensity of young animal growth in Pushkin breed chickens / O.V. Mitrofanova, N.V. Dementeva, A. A. Krutikova et al. // Cytology and Genetics. – 2017. – V. 51. – No. 3. – P. 179–184. DOI: 10.3103/S0095452717030082.
3. Щербаков Ю.С. Встречаемость аномалий у форели ропшинская золотистая / Ю.С. Щербаков, Н.В. Дементьева, В.П. Терлецкий и др. // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 11(164). – С. 145–151. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-11-145-151.
4. Дементьева Н.В. Встречаемость и значение мутации CVM у племенных животных Ленинградской области / Н.В. Дементьева, О.В. Митрофанова В.И. Тыщенко и др. // Молочное и мясное скотоводство. – 2014. – № 6. – С. 7-9.
5. Киселева Т.Ю. Неравновесие по сцеплению микросателлитных локусов у шести локальных популяций крупного рогатого скота / Т.Ю. Киселева, J. Kantanen, Н.И. Воробьев и др. // Генетика. – 2014. – Т. 50(4). – С. 464–473. DOI: 10.7868/S0016675814040043.
6. Chen Y. Identification and characterization of Janthinobacterium svalbardensis F19, a novel low-C/N-tolerant denitrifying bacterium / Y. Chen, P. Jin, Z. Cui et al. // Applied Sciences. – 2019. – V. 9. – P. 1937. DOI: 10.3390/app9091937.
7. Терлецкий В. П. Эффективный метод генетической паспортизации штаммов *Bacillus subtilis* – перспективных продуцентов биопрепаратов / В.П. Терлецкий, В. И. Тыщенко, И. И. Новикова и др. // Микробиология. – 2016. – Т. 85. – № 1. – С. 50–55. DOI: 10.7868/S0026365616010134.
8. Leeds T.D. Response to five generations of selection for growth performance traits in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) / T.D. Leeds, R.L. Vallejo, G.M. Weber et al. // Aquaculture. – 2016. – V. 465. – P. 341–351. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.036.
9. Животовский Л.А. Генетическая история лососевых рыб рода *Oncorhynchus* / Л.А. Животовский // Генетика. – 2015. – № 51. – С. 584–599. DOI 10.7868/S0016675815050100.
10. Кирпичников В. С. Генетика и селекция рыб / В. С. Кирпичников. – М.: Наука, Ленинградское отделение, 1987. – 520 с.
11. Dufflocq P. Correlated response of flesh color to selection for harvest weight in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) / P. Dufflocq, J.P. Lhorente, R. Bangera et al. // Aquaculture. – 2017. – V. 472. – P. 38–43. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.037.
12. Никандров В.Я. Новое селекционное достижение – форель ропшинская золотая / В.Я. Никандров, Н.И. Шиндавина, В.М. Голод др. // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 83–88.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yakovlev A. Vliyanie receptora gormona rosta na hozyajstvennye priznaki pticy [Effect of growth hormone receptor on agriculturally important traits in poultry] / A. Yakovlev, V. Terleckij, A. Sekste et al. // Pticevodstvo [Poultry Science]. – 2013. – № 1. – P. 2–6. [in Russian].
2. Mitrofanova O.V. Association of Polymorphic Variants in MSTN, PRL, and DRD2 Genes with intensity of young animal growth in Pushkin breed chickens / O.V. Mitrofanova, N.V. Dementeva, A. A. Krutikova et al. // Cytology and Genetics. – 2017. – V. 51. – No. 3. – P. 179–184. DOI: 10.3103/S0095452717030082.
3. SHCHerbakov YU.S. Vstrechaemost' anomalij u foreli ropshinskaya zolotistaya [The occurrence of abnormalities in ropshinskaya Golden Trout] / YU.S. SHCHerbakov, N.V. Dement'eva, V.P. Terleckij et al. // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KSAU]. – 2020. – № 11(164). – P. 145–151. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-11-145-151.
4. Dement'eva N.V. Vstrechaemost' i znachenie mutacii CVM u plemennyh zhivotnyh Leningradskoj oblasti [Occurrence and effect of CVM mutation in pedigree animals of Leningrad region] / N.V. Dement'eva, O.V. Mitrofanova V.I. Tyshchenko et al. // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo [Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding]. – 2014. – № 6. – P. 7-9. [in Russian].
5. Kiseleva T.YU. Neravnovesie po scephleniyu mikrosatelitnyh lokusov u shesti lokal'nyh populyacij krupnogo rogatogo skota [Linkage disequilibrium analysis for microsatellite loci in six cattle breeds] / T.YU. Kiseleva, J. Kantanen, N.I. Vorob'ev et al. // Genetika. – 2014. – Vol. 50(4). – P. 464–473. DOI: 10.7868/S0016675814040043.
6. Chen Y. Identification and characterization of Janthinobacterium svalbardensis F19, a novel low-C/N-tolerant denitrifying bacterium / Y. Chen, P. Jin, Z. Cui et al. // Applied Sciences. – 2019. – V. 9. – P. 1937. DOI: 10.3390/app9091937.
7. Terleckij V. P. Effektivnyj metod geneticheskoy pasportizacii shtammov *Bacillus subtilis* – perspektivnyh producentov biopreparatov [An efficient method for genetic certification of *Bacillus subtilis* strains, prospective producers of biopreparations] / V.P. Terleckij, V. I. Tyshchenko, I. I. Novikova et al. // Mikrobiologiya. – 2016. – V. 85. – № 1. – P. 50–55. DOI: 10.7868/S0026365616010134.
8. Leeds T.D. Response to five generations of selection for growth performance traits in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) / T.D. Leeds, R.L. Vallejo, G.M. Weber et al. // Aquaculture. – 2016. – V. 465. – P. 341–351. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.036.
9. Zhivotovskij L.A. Geneticheskaja istorija lososevyh ryb roda *Oncorhynchus* [Genetic history of salmonid fishes of the genus *Oncorhynchus*] / L.A. Zhivotovskij // Genetika [Russian Journal of Genetics]. – 2015. – V. 51(5). – P. 584–599. DOI: 10.7868/S0016675815050100. [in Russian]
10. Kirpichnikov V. S. Genetika i selekcija ryb [Fish genetics and breeding] / V. S. Kirpichnikov. – M.: Nauka, Leningradskoe otdelenie, 1987. – 520 p. [in Russian].
11. Dufflocq P. Correlated response of flesh color to selection for harvest weight in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) / P. Dufflocq, J.P. Lhorente, R. Bangera et al. // Aquaculture. – 2017. – V. 472. – P. 38–43. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.037.
12. Nikandrov V.YA. Novoe selekcionnoe dostizhenie – forel' ropshinskaya zolotaya [New breeding achievement – Ropshinskaya golden trout] / V.YA. Nikandrov, N.I. SHindavina, V.M. Golod et al. // Rybnoe khozyaistvo [Fish farming]. – 2019. – V. 4. – P. 83–88. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.012>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКВАПОННОГО МЕТОДА

Научная статья

Юрина Н.А.*

ORCID: 0000-0003-2684-5020,

Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (naden8277[at]mail.ru)

Аннотация

В статье приводятся результаты экспериментов по использованию метода аквапоники. Водные животные выделяют токсичные для них же самих продукты жизнедеятельности: азотистые, фосфорные, калийные соединения, углекислый газ. Накопление этих веществ в воде представляет главную проблему как в замкнутой промышленной аквакультуре. Эти же вещества абсолютно необходимы в гидропонике и их добавляют в воду для получения питательных растворов для растений. Учитывая, что экологически чистые продукты пользуются все большей популярностью и спрос на них постоянно растет, есть перспективы внедрения этой инновации в южных районах России. За счет увеличения урожайности петрушки в аквапонной установке на 7,3 %, дополнительной прибыли было получено 4,8 рублей с 1 кв. метра.

Ключевые слова: аквапоника, осетровые рыбы, бассейн, петрушка, урожайность, прибыль.

ON THE USE OF THE AQUAPONIC METHOD

Research article

Yurina N.A.*

ORCID: 0000-0003-2684-5020,

Krasnodar Research Centre for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (naden8277[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of experiments on the use of the aquaponic method. Aquatic animals emit toxic waste products such as nitrogenous, phosphoric, potassium compounds, carbon dioxide, which are also harmful to them. The accumulation of these substances in water is a major problem in closed industrial aquaculture. These same substances are absolutely necessary for hydroponics and they are added to water to obtain nutrient solutions for plants. Considering that environmentally friendly products are becoming increasingly popular and the demand for them is constantly growing, there are prospects for the introduction of this innovative method in the southern regions of Russia. An increase in the yield of parsley in aquaponics system by 7.3% provided an additional profit of 4.8 rubles per 1 square meter.

Keywords: aquaponics, sturgeon, swimming pool, parsley, yield, profit.

Введение

В условиях интенсификации осетроводства при выращивании рыбы в бассейнах [1, С. 316-322] целесообразным оказывается синергия отраслей в виде рыбоводства и аквапоники [2, С. 96-101].

Совместное культивирование рыбы и растений – современное направление, при ведении которого возможно получение качественной пищевой продукции при ведении прибыльного бизнеса для малых предприятий. Повышение рентабельности предприятий происходит за счет того, что рыба и выращиваемые растения обладают схожими потребностями в энергетических и тепловых затратах [3, С. 129-133], [4, С. 8-10].

В промышленных условиях с применением интенсивных технологий и содержания рыбы в бассейнах с замкнутым водоснабжением происходит накопление биогенов в процессе жизнедеятельности рыб. Их окисление, а также оставшегося корма приводит к повышению количества продуктов азотистого обмена [5, С. 299-310].

Аммоний, нитриты, нитраты можно использовать как питательные вещества при выращивании различных растений: томаты, огурцы, базилик, салат и другие культуры, а также зелень [6, С. 1-384].

На сегодняшний день перспективным методом выращивания растений без грунта является аквапоника с точки зрения совмещения технологии интенсивного осетроводства и растениеводства, так как на выходе получается комплекс экологически безопасной продукции [7, С. 4957-4960], [8, С. 249-284], [9, С. 69].

Именно поэтому в 21 веке становится популярным новый метод выращивания растений – аквапоника [10, С. 50-52].

Методы и принципы исследования

Целью исследований являлось сравнительный анализ выращивания зелени петрушки в грунте и в аквапонной установке, а также исследование выращивания аквапонного укропа.

Были поставлены и решены следующие задачи:

- 1) определить урожайность растений при разных способах культивирования;
- 2) провести анализ содержания сухого вещества в зелени петрушки;
- 3) изучить рост аквапонного укропа;
- 4) рассчитать экономический эффект применения аквапоники.

ООО «Албаши» - предприятие, занимающееся разведением и выращиванием прудовых рыб и осетровых в бассейнах и садках, раков, выращиванием аквапонной зелени. Из аквапонной зелени в хозяйстве выращивают базилик, зеленый лук, укроп, петрушку.

Проводили сравнительный посев петрушки сорта «Итальянский гигант» в грунт, и в разработанные аквапонное устройство.

Повторность четырехкратная. Посевные качества семян и урожайность определяли по методике Б.А. Доспехова (1985), биометрические данные – по Методике опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве/Под ред. В.Ф. Белика. М.: Агропромиздат, 1992. 312 с. По мере необходимости в грунте и в стаканчиках осуществляли прополку. Первая группа (контроль) – посадка семян петрушки в грунт (посев был выполнен при соблюдении расстояния между растениями – 30 см), вторая группа – посадка семян в аквапонное устройство в стаканчики.

В грунт высаживали семена петрушки на опытных делянках площадью 5 кв.м. на черноземе выщелоченном с рН солевой вытяжки (определение рН-метром Эксперт-рН (3х1) $6,3 \pm 0,2$, с содержанием подвижного фосфора (ГОСТ 26205-91) – $17,0 \pm 3,0$ мг/кг, подвижного калия (ГОСТ 26205-91) – $323,0 \pm 33,0$ мг/кг, гумуса (ГОСТ 26213-91) – 3,21 %, обменного аммония (ГОСТ 26489-85) – $2,5 \pm 0,5$ мг/кг, нитратов (ПНД Ф 16.1:2.2.3:2.2.69-10) – $16,5 \pm 1,2$ мг/кг на 100 г почвы. Посев был выполнен при соблюдении расстояния между растениями – 30 см, глубина посадки – 1 см, количество семян из расчета 0,5 г на 1 кв.м. Периодически осуществляли полив грунтовой петрушки отстоянной водой в вечерние часы после захода солнца. Вносили минеральные удобрения (г на 1 м): после появления всходов аммиачную селитру — 10 и суперфосфат — 5.

Для замеров брали по 30 растений. Для биохимического анализа брали по 6 проб из каждой группы. Содержание сухого вещества определяли на приборе Эвлас 2М, количество нитратов – ионометрическим методом.

Семена укропа в условиях ООО «Албаши» высаживались непосредственно в стаканчики в аквапонную установку. Были выбраны два сорта укропа «Аллигатор» и «Грибовский».

Статистическая обработка данных была произведена при использовании программы Microsoft Excel. Различия считали достоверными при $P < 0,05$; $P < 0,01$; $P < 0,001$.

Основные результаты

Разработанное аквапонное устройство содержит бассейн для рыбы (осетровых) и устройство для выращивания растений, которое выполнено в виде цилиндра с отверстиями, расположенных по рядам по всей его длине и на расстоянии друг от друга, для обеспечения расположения в них по ярусам под острым углом относительно горизонтальной плоскости модулей. Последние выполнены из перфорированных горшков с нейтральным пористым грунтом, в нашем случае кокосовой стружкой, в которые были высажены растения.

Применение аквапонного устройства, обеспечивает благоприятные условия выращивания растений и рыб при значительном снижении стоимости монтажа конструкции и затрат на ее обслуживание.

При проведении эксперимента установлено, что семена петрушки сорта «Итальянский гигант» проросли в аквапонной установке быстрее, чем в грунте: всходы появились в обеих установках на 7-е сутки. При посадке в грунт, всходы появились на 14 сутки. Всхожесть семян составила в первой группе 62,0 %, во второй – 66,0 %. Вегетационный период от всходов до снятия урожая петрушки составил 60 дней во всех группах. У петрушки в грунте листья были темно-зеленые, в аквапонной установке цвет листьев петрушки так же не уступал грунтовой, что связано с использованием съемной крыши в рыбоводном модуле (ПМ №198402), где располагалась аквапонная установка.

Выход зелени при первой срезке составил в первой группе 0,436 кг с 1 кв. м.

В аквапонной установке во второй группе урожайность с 1 кв.м. составила 0,503 кг с 1 кв. м, что выше, по сравнению с контролем на 15,4 %.

Длина растений была практически одинаковой во всех группах без особых отличий и варьировалась в пределах 42 см. Масса корней составила у растений первой группы $8,4 \pm 0,2$ г, второй группы – $8,1 \pm 0,1$ г без достоверно значимой разницы.

Итого урожайность петрушки за весь цикл (3 среза) составила в контроле 1,65 кг, во второй группе: 1,77 кг, что выше на 7,3 %.

Содержание сухого вещества в зеленой массе ($n=6$) петрушки первой группы составило $16,5 \pm 0,4$ %, второй группы – $12,6 \pm 0,5$ % ($P < 0,001$) [11, С. С. 143-146]. Следовательно, при аквапонном способе культивирования петрушки, содержание сухого вещества в зелёной массе достоверно снижается 3,9 %. Однако, при дегустации продукции особых различий по аромату и вкусу зелени между группами не было установлено (табл. 1).

Таблица 1 – Длина растений и содержание сухого вещества

Группа	Показатели			
	Масса растений, см	Длина растений, см	Урожайность за весь цикл, кг	Содержание сухого вещества в петрушке, %
1	$42,0 \pm 1,2$	$8,4 \pm 0,2$	1,65	$16,5 \pm 0,4$
2	$42,4 \pm 1,0$	$8,1 \pm 0,1$	1,77	$12,6 \pm 0,5$

Примечание: $n=30$

Обсуждение

Несмотря на снижение показателя сухого вещества в петрушке, аквапонический способ представлен как альтернативный грунтовому, и ни в коем случае мы не рекомендуем заменять его. Данный способ может быть применен в качестве получения дополнительной продукции растениеводства при разведении рыбы, в данном случае осетровых.

Содержание нитратов во второй группе растений находилось на оном уровне с контролем. Токсические вещества в растениях всех групп находились значительно ниже значений ПДК.

При себестоимости культивирования петрушки в грунте 60 руб. в расчете на 1 кг зеленой массы, цена ее реализации составила 120 руб. за 1 кг, следовательно прибыль была равна 60 руб.

При себестоимости культивирования петрушки в аквапонной установке 60 руб. (за счет накладных расходов на использование электроэнергии для обеспечения жизнедеятельности осетровых рыб в бассейнах) в расчете на 1 кг зеленой массы, цена ее реализации составила 120 руб. за 1 кг, следовательно прибыль была равна так же 60 руб.

За счет увеличения урожайности петрушки в аквапонной установке на 7,3 %, дополнительной прибыли было получено 4,8 рублей с 1 кв. метра.

В исследовании на укропе установлено, что выход с 1 кв.м. зелени сорта «Аллигатор» составил 2,0 кг, интенсивность окрашивания зелени была ярко-зеленая, изумрудного оттенка. Всхожесть семян наблюдалась на 8 сутки и составила 88,0 %. Процент засохших растений составил 1,5 %. Время вегетации составило 35 суток. Из заболеваний наблюдалось наличие мучнистой росы (5,0 % растений) и черная ножка (7,0 %). Больные растения удаляли.

Выход зеленой массы укропа сорта «Грибовский» - 1,7 кг, интенсивность окрашивания зелени была ярко-зеленая, изумрудного оттенка, имелись блеклые вкрапления. Процент засохших растений составил 2,3 %. Время вегетации составило 35 суток. Из заболеваний наблюдалось наличие мучнистой росы (4,0 % растений).

Продукция получается экологически безопасная, без применения стимуляторов роста, пестицидов, гербицидов и инсектицидов. Реализация продукции растениеводства, выращенной в аквапонической установке, позволит покрывать расходы рыбоводного предприятия на горюче-смазочные материалы, заработную плату рабочим, электроэнергию. Таким образом и продукция рыбоводства так же снижает свою себестоимость.

Немаловажным фактором в сложившейся геополитической обстановке и условиях пандемии, является обеспечение населения продукцией производства предприятий своего региона, что сокращает расходы на логистику, позволяет получить готовый продукт к употреблению непосредственно «с грядки - на стол», удешевляет стоимость. Это и социальный фактор, возможны поставки в детские учреждения, дома престарелых, школы, так же возможны дальнейшие разработки применения аквапонической растениеводческой продукции при производстве детского питания.

При излишках производства, или отсутствия части реализации, возможно проведение консервации и сушки растений, что увеличивает их срок хранения и продажи.

Заключение

За счет увеличения урожайности петрушки в аквапонной установке на 7,3 %, дополнительной прибыли было получено 4,8 рублей с 1 кв. метра.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Mustafa S. Aquaculture Ecosystems: Adaptability and Sustainability / S. Mustafa, R. Shapawi – Sabah: Wiley-Blackwell, 2015. – 400 p.
2. Yurina N.A. Artificial ecological system – hydroponics: the wheat grains germination rate / N.A. Yurina, A.G. Koshchayev, D.V. Osepchuk et al. // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2019. – 9. – p. 4957-4960.
3. Krymov V.G. Changes of Weight Indicators in Sturgeon Fish When Using Combined Feeds with Various Protein and Fat Contents in Closed Water Supply Installations. / V.G. Krymov, D.A. Yurin, S.I. Kononenko et al. // International Journal of Pharmaceutical Research. – 2018. – 10. – p. 316-322.
4. Boxman S.E. Evaluation of water treatment capacity, nutrient cycling, and biomass production in a marine aquaponic system. / S.E. Boxman, S.J. Ergas, M.A. Trotz // Ecological Engineering. – 2018. – 120. – p. 299-310.
5. Yurina N.A. Germination of the seeds of lettuce using the aquaponic method / N.A. Yurina, D.A. Yurin, E.A. Maxim et al. // Amazonia Investiga. – 2020. – 25. – p. 279-284.
6. Викулова В.С. Аквапоника - как новое развитие агропродовольственного комплекса. / В.С. Викулова // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. – 2015. – 1. – с. 50-52.
7. Курылева Н.В. Гидропоника - как метод выращивания зеленых культур. / Н.В. Курылева, А.В. Юрина // Молодежь и наука. – 2016. – 5. – с. 69.
8. Юрин Д.А. Оптимизация роста рыбы путем интеграции двух отраслей. / Д.А. Юрин, Д.В. Оsepчук, Н.А. Юрина и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – 8-1 (110). – с. 143-146.
9. Григорьев В.А. Опыт совместного выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus burchell*, 1822) и салата (*Lactuca sativa* L.) методом аквапоники. / В.А. Григорьев, А.В. Ковалева, М.Н. Сорокина // Естественные науки. – 2015. – 4 (53). – с. 96-101.
10. Ковригин А.В. Разработка элементов инновационной автоматизированной аквапонной технологии производства сельскохозяйственной продукции / А.В. Ковригин, В.П. Кулаченко, Р.А. Исаев // Белгородский агромир. – 2015. – 3. – с. 8-10.
11. Гордиевских М.Л. Ускорение роста и развития растений путем использования органических поливных растворов в гидропонном кормопроизводстве. / М.Л. Гордиевских, Е.И. Столбовая, В.В. Евченко // АПК России. – 2015. – 73. – с. 129-133.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mustafa S. Aquaculture Ecosystems: Adaptability and Sustainability / S. Mustafa, R. Shapawi – Sabah: Wiley-Blackwell, 2015. – 400 p.
2. Yurina N.A. Artificial ecological system – hydroponics: the wheat grains germination rate / N.A. Yurina, A.G. Koshchayev, D.V. Osepchuk et al. // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2019. – 9. – p. 4957-4960.

3. Krymov V.G. Changes of Weight Indicators in Sturgeon Fish When Using Combined Feeds with Various Protein and Fat Contents in Closed Water Supply Installations. / V.G. Krymov, D.A. Yurin, S.I. Kononenko et al. // International Journal of Pharmaceutical Research. – 2018. – 10. – p. 316-322.
4. Boxman S.E. Evaluation of water treatment capacity, nutrient cycling, and biomass production in a marine aquaponic system. / S.E. Boxman, S.J. Ergas, M.A. Trotz // Ecological Engineering. – 2018. – 120. – p. 299-310.
5. Yurina N.A. Germination of the seeds of lettuce using the aquaponic method / N.A. Yurina, D.A. Yurin, E.A. Maxim et al. // Amazonia Investiga. – 2020. – 25. – p. 279-284.
6. Vikulova V.S. Akvapionika - kak novoe razvitie agroproduktivnogo kompleksa [Aquaponics - as a new development of the agri-food complex]. / V.S. Vikulova // Zakonomernosti razvitiya regional'nyh agroproduktivnyh sistem [Regularities in the development of regional agri-food systems]. – 2015. – 1. – p. 50-52. [in Russian]
7. Kury'leva N.V. Gidroponika - kak metod vy'rashhivaniya zeleny'x kul'tur [Hydroponics - as a method of growing green crops]. / N.V. Kury'leva, A.V. Yurina // Molodezh' i nauka [Youth and Science]. – 2016. – 5. – p. 69. [in Russian]
8. Yurin D.A. Optimizatsiya rosta ry'by' putem integratsii dvux otraslej [Optimizing fish growth by integrating the two industries]. / D.A. Yurin, D.V. Osepchuk, N.A. Yurina et al. // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. – 2021. – 8-1 (110). – p. 143-146. [in Russian]
9. Grigor'ev V.A. Opyt sovmestnogo vy'rashhivaniya klarievogo soma (Clarias gariepinus burchell, 1822) i salata (Lactuca sativa L.) metodom akvapioniki [Experience of joint cultivation of clarius catfish (Clarias gariepinus burchell, 1822) and lettuce (Lactuca sativa L.) By aquaponics] / V.A. Grigor'ev, A.V. Kovaleva, M.N. Sorokina // Estestvennye nauki [Natural Sciences]. – 2015. – 4 (53). – p. 96-101. [in Russian]
10. Kovrigin A.V. Razrabotka e'lementov innovacionnoj avtomatizirovannoj akvapionnoj tekhnologii proizvodstva sel'skoxozyajstvennoj produkcii [Development of elements of an innovative automated aquaponic technology for the production of agricultural products]. / A.V. Kovrigin, V.P. Kulachenko, R.A. Isaev // Belgorodskij agromir [Belgorod agromir]. – 2015. – 3. – p. 8-10. [in Russian]
11. Gordievskix M.L. Uskorenie rosta i razvitiya rastenij putem ispol'zovaniya organicheskix polivny'x rastvorov v gidroponnom kormoproizvodstve [Acceleration of plant growth and development by using organic irrigation solutions in hydroponic forage production]. / M.L. Gordievskix, E.I. Stolbovaya, V.V. Evchenko // APK Rossii [Agro-industrial complex of Russia]. – 2015. – 73. – p. 129-133. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.013>

ПАРАЗИТАРНЫЕ ДЕРМАТИТЫ У ОВЕЦ: ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ

Научная статья

Байсарова З.Т.*

ORCID: 0000-0002-2965-4687,

Чеченский государственный университет, Грозный, Россия

* Корреспондирующий автор (elgros95[at]mail.ru)

Аннотация

В нашей стране овцеводство считается одной из ведущих и прибыльных отраслей народного хозяйства. Овцы – это полезные и качественные продукты питания, а также ценная сырьевая база. Овечья шерсть идет на изготовление войлока, одежды, обуви и многого другого.

Заболевания кожи – одна из серьезных проблем, с которой приходится сталкиваться овцеводам. Лечение и профилактика кожных болезней способствуют сохранению поголовья, обеспечивают эффективность содержания скота.

На основании изучения ветеринарных отчетов были сделаны выводы, что болезни кожи вызывают несколько эктопаразитов. Причем в разных природно-климатических зонах Чеченской республики распространение и степень проявления паразитарных дерматитов овец имеет свои особенности. Информация взята за период 2016-2019 гг.

Ключевые слова: паразитарные заболевания, МРС, паразитарный дерматит, Чеченская республика, ветеринарное исследование.

PARASITIC DERMATITIS IN SHEEP: DIAGNOSIS AND TREATMENT

Research article

Baysarova Z.T.*

ORCID: 0000-0002-2965-4687,

Chechen State University, Grozny, Russia

* Corresponding author (elgros95[at]mail.ru)

Abstract

Sheep breeding is considered one of the leading and profitable branches of the Russian economy. Sheep are healthy and high-quality food products, as well as a valuable raw material base, while their wool is used for the manufacture of felt, clothing, shoes and much more.

Skin diseases are one of the serious problems that sheep farmers have to face. Treatment and prevention of skin diseases contribute to the preservation of livestock and ensure the efficiency of livestock maintenance.

Based on the study of veterinary reports, it was concluded that skin diseases are caused by several ectoparasites. Moreover, in different climatic zones of the Chechen Republic, the spread and degree of manifestation of parasitic dermatitis of sheep has its own characteristics. The article contains data obtained from the period from 2016 to 2019.

Keywords: parasitic diseases, MRS, parasitic dermatitis, Chechen Republic, veterinary research.

Введение

В Чеченской республике и на Северном Кавказе в целом овцеводство традиционно входит в число ведущих отраслей животноводства. Овцы – это шерсть, мясо, молоко. Чем качественнее проводятся профилактические работы по предупреждению инвазивных заболеваний, тем выше рентабельность отрасли.

Кожные болезни овец существенно снижают продуктивность отрасли. Чаще всего у животных наблюдаются паразитарные болезни. Они проявляют себя в виде морфологического изменения кожных покровов, а также негативно влияют на функции внутренних органов. В итоге падает репродуктивность, поголовье даёт меньше мяса и шерсти.

Ассоциативная форма эпизодов инвазивных заболеваний обостряется осенью и зимой, что усложняет выявление заболеваний и их профилактику. Цель данной работы - определение случаев паразитарных болезней кожи у овец, проведение своевременной диагностики патологий и дальнейшее их лечение с учетом природных особенностей региона.

Методы и принципы исследования

Анализ данной местности проводится на протяжении двадцати лет. Анализируются особенности течения незаразных дерматитов паразитарной и инфекционной природы. При этом особое внимание уделяется вопросу влияния на болезнь природных критериев и климата.

Два года проводится наблюдение за северокавказскими и грозненскими овцами. За этот период подопытными стали 1500 голов из таких районов: Грозненского, Шелковского, Урус-Мартановского, Гудермесского, Веденского.

Отметим, что Веденский район выбран не случайно. Здесь климат более влажный, не слишком жаркий, чего нельзя сказать о других районах, которые отличаются засушливостью, а температура в жаркое время года выше как минимум на 5-7 °С.

За две недели до начала работ овцы прошли клиническое обследование – путем взятия соскоба у семисот особей специалисты проверяли кожу на предмет наличия очагов болезни. Учитывали наличие биологического возбудителя, проявление и локализацию симптомов, экстенсивность заражения, сезон обострения болезни, климатические и природные особенности. Также анализировались данные, которые предоставили ветеринары за каждый год в период распространения болезней.

Ежегодная, полученная от ветеринаров статистика стала основой для изучения распространения дерматитов у овец, вызванных паразитами. При выявлении у овец паразитарных дерматитов их отправляли на анализ. Лечение проводилось, проходящими испытание акарицидными препаратами. Нужная концентрация средства подбиралась, а затем проверялась на отдельных, изолированных от других паразитов клещах. После получения положительных результатов обработке подлежало все стадо овец, что предотвращало распространение эктопаразитов.

Основные результаты

Данные 2016-2019 года показывают, что в местах с повышенной влажностью наблюдается высокая экстенсивность – по сравнению с другими участками там выявлено около 8-8,5% инфекционных и незаразных дерматитов. Больше 90% паразитарных дерматитов обнаружено в засушливых зонах, 83% экстенсивности диагностировано при высокой влажности.

Анализ данных следующих двух лет показал, что во всех исследуемых зонах статистика локализации инфекционных незаразных дерматитов с учетом одного и того же климата и одной и той же природы находится в пределах 4-5%. Допускаются незначительные отклонения. На участках с засухой паразитарные дерматиты экстенсивнее – статистика показывает распространенность около 88-91%.

В следующие три года 2016-2019 гг. статистика по инфекционным незаразням дерматитам с учетом одного и того же климата и одной и той же природы находилась в пределах 4-5% и 5-6%. Паразитарные дерматиты экстенсивнее – статистика показывает распространенность в засухе около 88-91%.

Итак, на всех исследуемых участках больше всего регистрируются паразитарные дерматиты. Статистика по этому типу варьируется в пределах 83-98%, чуть меньше случаев незаразных дерматитов, еще реже встречаются инфекционные дерматиты.

Ветеринары Чеченской республики проводили собственное исследование: анализировали распространенность паразитарных дерматитов в одинаковых природных условиях и климате. Наблюдала за более двадцатью пятью тысячами голов и выявила, что из этого числа 33% особей заражены – в цифровом эквиваленте это больше восьми тысяч голов. Больше всего случаев заражения зафиксировано в Грозненском, Шелковском, Гудермесском и Урус-Мартановском районах, которые отличаются засушливым климатом. Кроме того, здесь также обнаружены единичные поражения псороптозом, маллофагоз и иными эктопаразитами. Согласно статистическим данным ветеринарных станций в данных районах в 2016-2017 годах зафиксированы вспышки в летний сезон, зимний сезон. Весной 2018-2019 года обработок было меньше.

В Гудермесском и Шелковском районах зимой и весной 2017-2019 гг. диагностированы патологии, при которых экстенсивность составила от 1 до 50%. В ходе наблюдения за тем, как у больных овец распространяется поражение кожи, выявила, что за первые полтора зимних месяца количество заболевших увеличилось. В следующие полтора зимних месяца наблюдалось прогрессирование болезни. Обнаружено, что быстрее заболевали животные, которые содержались в тесном помещении, вплотную друг к другу, больше подвержены заболеванию молодые овцы. В основном животные заражались от уже заболевших, при перемещении на другие базы. При этом запланированные профилактические мероприятия выполнялись в полном объеме.

Ветеринары предоставили статистику, из которой видно, что зимой 2016 года профилактическую обработку в республике прошли 570000 голов, то есть половина от всего количества. Профилактическая обработка в 2017 году сократилась до 410000 голов, то есть обрабатывали 32% поголовья. В следующие годы обработано лишь 300000-350000 голов, что в процентном выражении составляет 22-24%.

В районах с засухой и крайне засушливых районах в июле и в августе было мало случаев паразитарных дерматитов. В Шелковском районе зафиксирована вспышка маллофагоза и псороптоза.

Часто причина заболеваемости скрывается в том, что ветеринары не знают о перегруппировке и передвижении стада. В результате не принимаются нужные меры и как следствие, когда овцы находятся на пастбище, там, где избыток или много влаги фиксируется вспышка болезней. При паразитарных дерматитах большинство эктопаразитов развиваются по одному сценарию, и лишь единичные эктопаразиты отличаются.

Нужно подчеркнуть, что при дерматите, независимо от площади поражения, поражаются все кожные слои. В книге Е. П. Фролова и А. М. Чернуха сказано, что существуют следующие стадии развития паразитарных дерматитов:

1. Экссудация. После попадания эктопаразита на кожу развивается токсический и механический зуд.
2. Пролиферация. Самочувствие животного стабилизируется. Воспаление немного уменьшается, эластичность кожных покровов снижается. На коже образуются корки и складки.
3. Завершение патологии. Кожа медленно нормализуется. Заметны пролиферативные изменения. Иногда болезнь переходит в генерализованную форму.

На этом фоне ветеринары стали тщательнее изучать патоморфологию паразитарных дерматитов у овец.

Чтобы кожа животного быстро восстанавливалась при маллофагозе и псороптозе, нужно анализировать, изучать патологии, разрабатывать новые современные методы лечения. Было проанализировано состояние внутренних органов, а также мышцы, лимфоузлы, кожа овец при этих двух патологиях. Исследование проводили на сорока двух особях, в возрасте от трех месяцев до двух лет. У больных псороптозом во время вскрытия выявили: изменения внутренних органов у молодых особей, интенсивные изменения у овец в возрасте до одного года, нарушение подкожно-жирового слоя и кожи. На рисунке 1 показана дистрофия и некроз внутренних органов, расслоение верхнего слоя кожи при обострении болезни.

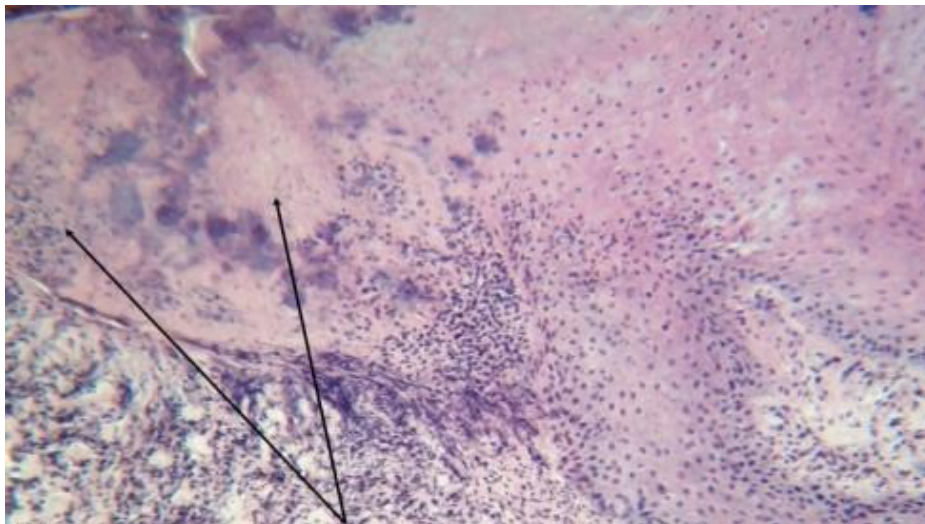


Рис. 1 – Некроз кожи при псороптозе

В подкожно-жировом слое и в глубине кожи выявлен отек. Микроскопия показала, что вокруг сосудов скопилась жидкость, лимфа инфильтрована. На рисунке 2 показан отек, набухание, инфильтрация поверхностного слоя кожи.

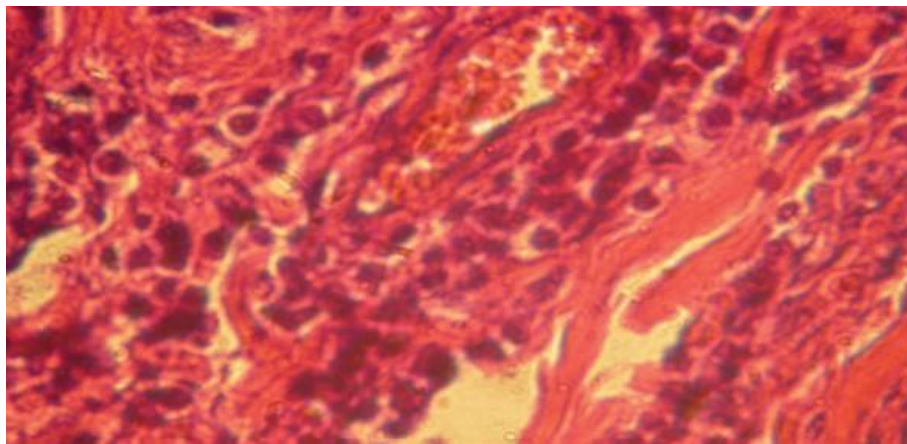


Рис. 2 – Инфильтрация кровеносных сосудов при дерматитах

На рисунке 3 показано, что лимфоузлы подвержены гиперплазии. Патология распространяется глубже.

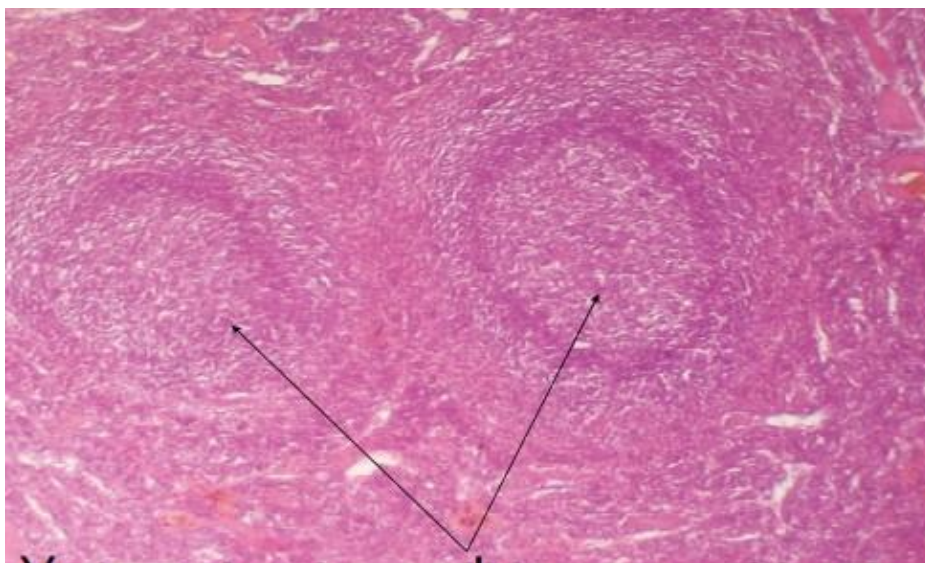


Рис. 3 – Гиперплазия лимфоидных фолликулов при псороптозе

Воспалились регионарные лимфоузлы, которые воспаляются в основном при серозно-геморрагическом лимфадените или серозном лимфадените.

Псороптоз в основном не заканчивается летальным исходом. Однако овцы истощались и умирали по той причине, что бактериальный маллофагоз, отягощен вольфартиозом.

Обсуждение

Итак, патологии кожи у овец в основном фиксируются из-за нарушенного обмена веществ. Иногда болезни случаются из-за недостатка витаминов, нехватки полезных элементов, дефицита микроэлементов, неправильного питания. На практике видно, что яркая симптоматика наблюдается у молодого поголовья в возрасте двух-трех лет, старые животные болевают реже. Клиническая картина обостряется, если животные содержатся в сырых помещениях, плохо едят.

Очаги маллофагоза и псороптоза выявляются на разных участках кожи. В основном они концентрируются на шее, спине и лопатках, реже на хвосте, по бокам тела. Независимо от объема очага патология распространяется на всю толщу кожи, полное вовлечение диагностируется во время осмотра мездры после вскрытия. В основном симптомы болезни обостряются у молодых животных и происходит это через некоторое время. Как правило, признаки заболевания появляются спустя пару месяцев после того, как здоровая овца контактировала с зараженной овцой. Из-за этого обычные методы диагностики в этих случаях не работают.

Профилактика болезней среди овец позволяет вовремя воздействовать на причину заболеваемости. Чтобы избежать вспышек заболеваемости рекомендуется купать овец, поливать или опрыскивать их акарицидами, под кожу или в мышцу вводить лекарства, обрабатывать вовремя очаги на кожных покровах. Болезни появляются, когда в сыром стойле и в темноте животные находятся большое количество времени, также при низкой сопротивляемости организма.

Необходимо учитывать, что зимой поголовье овец (овцематок) находится в глубокой суягности (4–5 месяцы беременности). Возникает вопрос об оказании помощи, но купание – самый надежный метод лечения, осуществить невозможно, поэтому наиболее приемлемым считаем подкожное введение препаратов из группы авермектинов.

Заключение

Основываясь на результатах проведенных исследований, нами разработана система мероприятий по борьбе с дерматитами паразитарной этиологии овец, которая включает:

- 1) проведение профилактических обработок овец в осенний период (сентябрь – октябрь) методом купания и запрет перегруппировки отар после профилактических мероприятий;
- 2) при возникновении клинической картины дерматитов паразитарной этиологии проведение экспресс-диагностики и уточнение диагноза заболевания;
- 3) при возникновении в стойловый период дерматитов паразитарного происхождения и подтверждения диагноза «Псороптоз» проведение выборочной обработки глубокосуягных овец препаратами из группы авермектинов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Багамаев, Б. М. Эктопаразитозы овец на Ставрополье / Б. М. Багамаев, Ф. И. Василевич, Е. В. Горячая // Российский паразитологический журнал. – 2011. – № 3. – С. 12–14.
2. Багамаев, Б. М. Эктопаразитозы овец в Ставропольском крае в зависимости от природно-климатических зон / Б. М. Багамаев, Ф. И. Василевич // Актуальные вопросы современной науки : сб. науч. тр. – МГАВМиБ. – 2011. – С. 20–23.
3. Багамаев Б.М. Распространение дерматитов паразитарного происхождения у овец в хозяйствах Северного Кавказа / Багамаев Б.М. // Российский паразитологический журнал. 2014. №3. – [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rasprostranenie-dermatitov-parazitarnogo-proishozhdeniya-u-ovets-v-hozyaystvakh-severnogo-kavkaza> (дата обращения: 14.09.2021).
4. Водянов, А. А. Эффективность некоторых акарицидных препаратов при псороптозе овец / А. А. Водянов, В. И. Маханько, Б. М. Багамаев // Диагностика, лечение, профилактика заболеваний сельскохозяйственных животных : сб. науч. тр. ССХИ. – Ставрополь, 1993. – С. 8.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bagamayev, B. M. Ektoparazitozy ovets na Stavropol'ye [Ectoparasitosis of sheep in the Stavropol region] / B. M. Bagamayev, F. I. Vasilevich, Ye. V. Goryachaya // Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal [Russian parasitological journal]. – 2011. – № 3. – P. 12–14. [in Russian]
2. Bagamayev, B. M. Ektoparazitozy ovets v Stavropol'skom kraye v zavisimosti ot prirodno-klimaticheskikh zon [Ectoparasitosis of sheep in the Stavropol Territory, depending on the natural and climatic zones] / B. M. Bagamayev, F. I. Vasilevich // Aktual'nyye voprosy sovremennoy nauki : sb. nauch. tr [Actual problems of modern science : collection of scientific works]. – MGAVMiB. – 2011. – P. 20–23. [in Russian]
3. Bagamayev B.M. Rasprostraneniye dermatitov parazitarnogo proishozhdeniya u ovets v khozyaystvakh Severnogo Kavkaza / Bagamayev B.M. // Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal [Russian Parasitological journal]. 2014. №3. [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rasprostraneniye-dermatitov-parazitarnogo-proishozhdeniya-u-ovets-v-hozyaystvakh-severnogo-kavkaza> (accessed: 14.09.2021).
4. Vodyanov, A. A. Effektivnost' nekotorykh akaritsidnykh preparatov pri psoroptoze ovets [The effectiveness of some acaricidal drugs in sheep psoroptosis] / A. A. Vodyanov, V. I. Makhan'ko, B. M. Bagamayev // Diagnostika, lecheniye, profilaktika zabolevaniy sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh : sb. nauch. tr. SSKHI [Diagnostics, treatment, prevention of diseases of farm animals : collection of scientific tr. SSHI]. – Stavropol', 1993. – P. 8. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.014>

КУТИКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ЭПИДЕРМИСА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫЕ

Научная статья

Джапова Р.Р.¹, Бембеева О.Г.^{2,*}, Джапова В.В.³¹ ORCID: 0000-0002-2197-5451;² ORCID: 0000-0003-0715-8794;³ ORCID: 0000-0001-9615-1214;^{1,3} Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, Элиста, Россия;² Институт комплексных исследований аридных территорий, Элиста, Россия

* Корреспондирующий автор (bembeeve_og[at]mail.ru)

Аннотация

Наружные покровы растений представлены эпидермисом и кутикулой, защищающими внутренние клетки от пересыхания. Клетки эпидермиса обычно расположены в один ряд и тесно примыкают друг к другу. Кутикула лежит поверх эпидермиса в виде тонкой пленки бесструктурного вещества кутина. Особенностью внутренней поверхности кутикулы является то, что на ней отпечатывается орнамент поверхности эпидермальных клеток, который видоспецифичен и не изменяется даже под воздействием пищеварительных энзимов в желудочно-кишечном тракте животных. В статье рассмотрены особенности кутикулярной структуры эпидермиса некоторых видов семейства Капустные (Brassicaceae), широко распространенных на территории Республики Калмыкия. Для оценки рациона растительноядных животных методом микрогистологического кутикулярного копрологического анализа создание базы данных эталонных фотографий рисунка кутикулы различных видов растений является обязательным этапом, предшествующим идентификации растительных фрагментов в экскрементах животных.

Ключевые слова: кутикула, эпидермис, метод микрогистологического кутикулярного копрологического анализа.

CUTICULAR STRUCTURE OF THE EPIDERMIS OF SOME SPECIES OF THE BRASSICACEAE

Research article

Dzhapova R.R.¹, Bembeeve O.G.^{2,*}, Dzhapova V.V.³¹ ORCID: 0000-0002-2197-5451;² ORCID: 0000-0003-0715-8794;³ ORCID: 0000-0001-9615-1214;^{1,3} B.B. Gorodovikov Kalmyk State University, Elista, Russia;² Institute of Complex Studies of Arid Territories, Elista, Russia

* Corresponding author (bembeeve_og[at]mail.ru)

Abstract

The outer covers of plants are the epidermis and cuticle, which protect the inner cells from drying out. The cells of the epidermis are usually arranged in a row and closely adjacent to each other. The cuticle lies on top of the epidermis in the form of a thin film of cutin, a structureless substance. The peculiarity of the inner surface of the cuticle is that the ornament of the surface of the epidermal cells is imprinted on it, which is species-specific and does not change even under the influence of digestive enzymes in the gastrointestinal tract of animals. The article discusses the features of the cuticle structure of the epidermis of some species of the Brassicaceae widely distributed in the Republic of Kalmykia. To assess the diet of herbivorous animals by the method of microhistological coprological cuticle analysis, the creation of a database of reference photos of the cuticle pattern of various plant species is a mandatory step preceding the identification of plant fragments in animal excrement.

Keywords: cuticle, epidermis, method of microhistological coprological cuticle analysis.

Введение

Анатомическое исследование растений – один из основных методов диагностики и идентификации растений в нецветущем состоянии. Среди множества анатомических признаков эпидермальные показатели являются одними из ведущих. По эпидермису имеется много работ [1], [2], [3], в них изучены анатомические стороны эпидермы по семействам, но не рассматривался эпидермальный комплекс в целом [4, С. 9]. В настоящее время метод микроскопического кутикулярного анализа активно используется исследователями из России [5], [7], [9].

Наши исследования начались в 2017 году и проводятся на базе кафедры ботаники, зоологии и экологии и Центра коллективного пользования «БиоВет» Калмыцкого государственного университета. За это время создана база данных эталонных препаратов рисунка кутикулы более 100 видов растений. Банк эталонных препаратов даст возможность использовать метод микрогистологического кутикулярного копрологического анализа, с помощью которого можно определять виды потребляемых растений по их фрагментам в экскрементах растительноядных животных [10].

Методы исследования

Для приготовления эталонных образцов кутикулу отслаивали из частей растения способом мацерации [8]. Отрезанные от разных органов растения фрагменты размером 5-10 мм помещали в фарфоровый тигль с 3-4 каплями концентрированной азотной кислоты и нагревали на спиртовке под вытяжкой. Фрагменты нагревали в течение 2-3 минут, пока их зеленый цвет не становился оранжевым. Содержимое тигля переносили в емкость с водой (также под вытяжкой).

Фрагменты кутикулы, всплывшие на поверхность, отбирали пипеткой, помещали на предметное стекло и рассматривали в микроскоп. Постоянные препараты получали путем погружения отобранных фрагментов кутикулы в глицерин-желатин.

Глицерин-желатин готовили следующим образом: брали 1 г желатина, 6 мл дистиллированной воды и 7 мл чистого глицерина. На 100 частей этой смеси добавили 1 г карболовой кислоты (фенол). Желатин смочили в воде и оставили набухать 2 часа, затем прилили глицерин и карболовую кислоту. Смесь нагревали, помешивая, пока желатин не растворился. Полученную смесь отфильтровали через стеклянную вату с помощью воронки с двойными стенками, наполненной горячей водой. Хранили глицерин-желатин в колбе с широким дном, закрывая ее корковой пробкой при комнатной температуре. Перед работой и в процессе приготовления препаратов глицерин-желатин подогревали на водяной бане.

Подготовленные образцы для предотвращения высыхания запечатывали, проводя кисточкой с лаком по границам покровного стекла. Каждый препарат снабжали этикеткой, на которой указан вид и орган растения, с которого получен образец, дата изготовления препарата и фамилия preparatora.

Эталонные фотографии скульптурного рисунка кутикулы выполнены на микроскопе Nikon Eclipse E 200 с 500-кратным увеличением. Для дальнейшей обработки фотографий использовали программы Microsoft Office Picture Manager 2010 и PowerPoint 2010. Латинские названия растений приведены по С.К. Черепанову [11].

Результаты и обсуждение

По классификации Н. Анели [4] основоположные клетки эпидермы у видов растений семейства Капустные как прямолинейного, так и криволинейного очертания. Различие их в том, что в прямолинейном клане оболочки клеток более или менее прямолинейные, а в криволинейном – клетки с различной степенью извилистости.

Большинство рассматриваемых видов растений относятся к криволинейному клану (рис. 1-6).

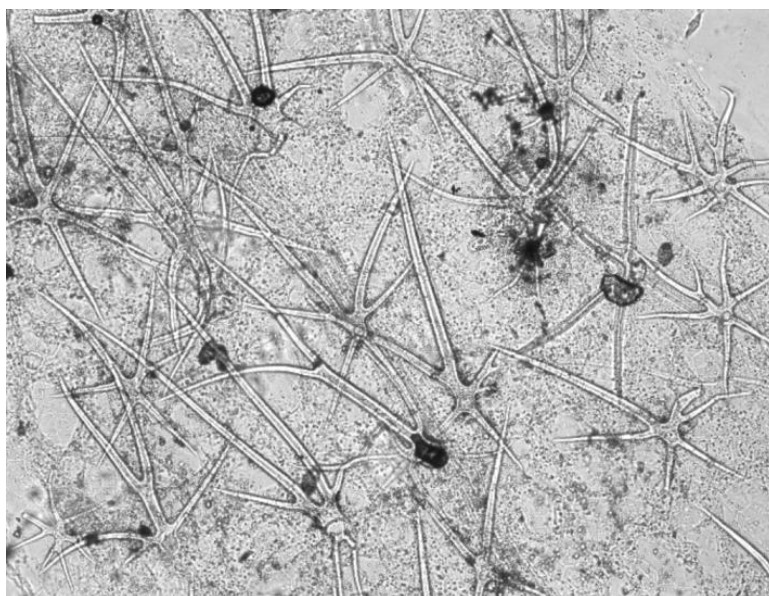


Рис. 1 – Кутикулярная структура эпидермиса листа эталонного препарата бурачка пустынного (*Alyssum desertorum* Stapf)

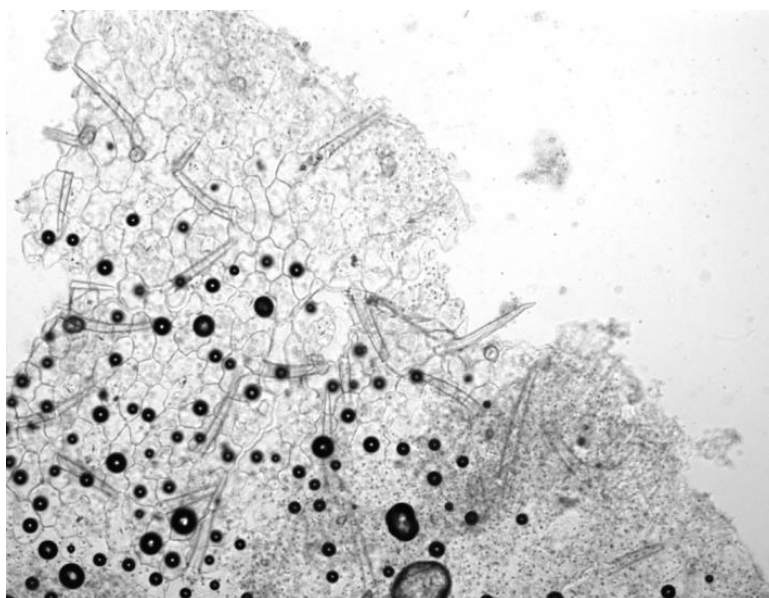


Рис. 2 – Кутикулярная структура эпидермиса листа эталонного препарата кардарии крупковидной (*Cardaria draba* (L.) Desv.)

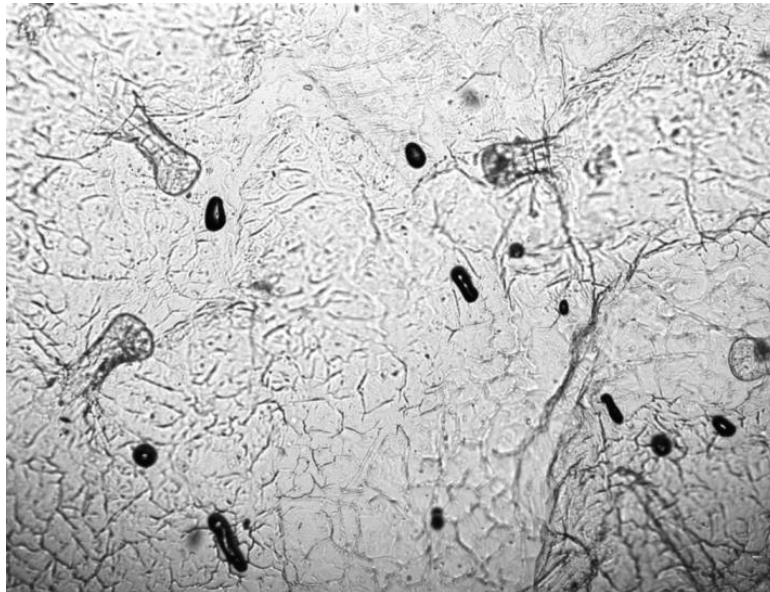


Рис. 3 – Кутикулярная структура эпидермиса листа эталонного препарата хориспоры нежной (*Chorispora tenella* (Pall.) DC.)

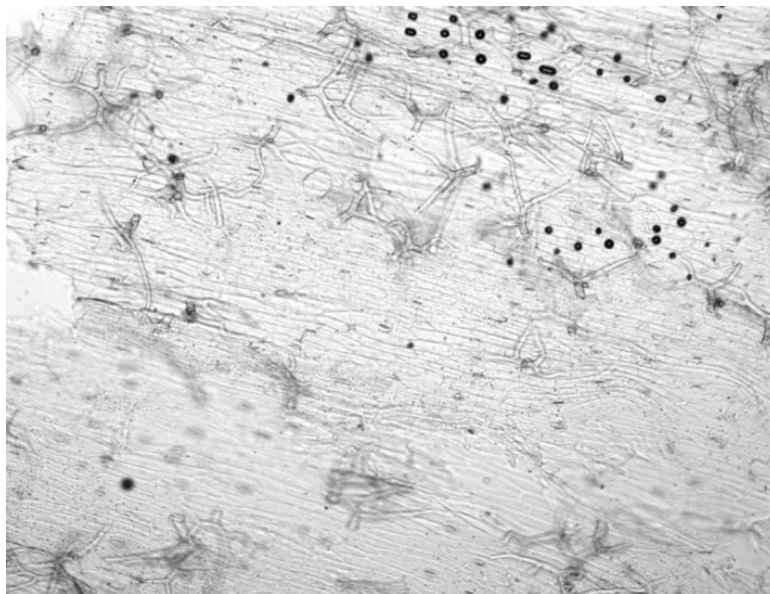


Рис. 4 – Кутикулярная структура эпидермиса стебля эталонного препарата дескурайнии Софьи (*Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl)

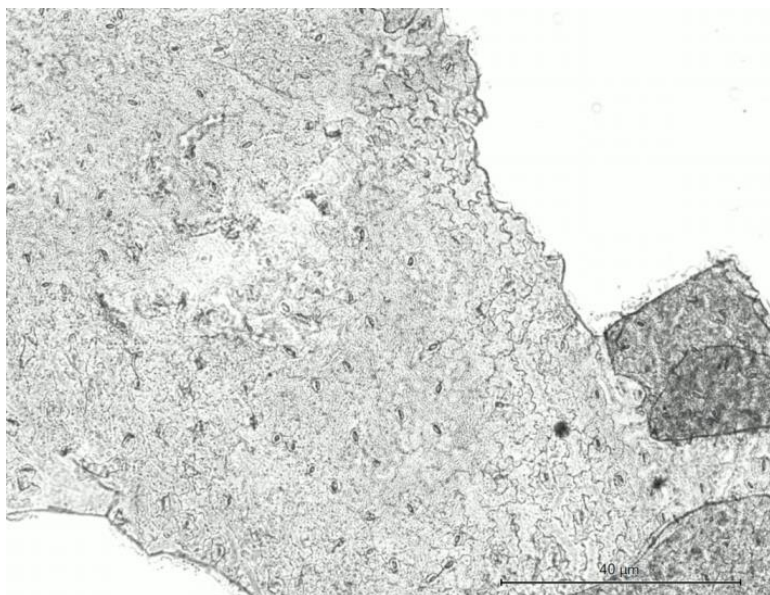


Рис. 5 – Кутикулярная структура эпидермиса листа эталонного препарата клоповника пронзеннолистного (*Lepidium perfoliatum* L.)

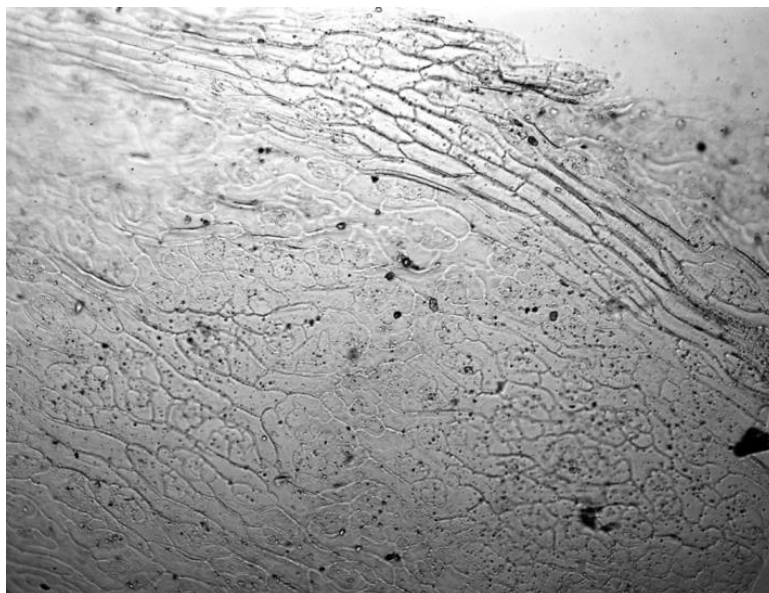


Рис. 6 – Кутикулярная структура эпидермиса листа эталонного препарата гулявника высокого (*Sisymbrium altissimum* L.)



Рис. 7 – Кутикулярная структура эпидермиса листа эталонного препарата сирени горной (*Syrenia montana* (Pall.) Klokov)

Клан в свою очередь делится на две группы: строчную и нестрочную. К строчной группе относится *Descurainia sophia*, когда продолговатые кривостеночные с заостренными концами клетки расположены более или менее вертикальными рядами. Виды растений, относящиеся к нестрочной группе, отличаются кривыми стенками паренхимных клеток с острыми углами. Это *Alyssum desertorum*, у которого пограничные клетки паренхимных клеток преимущественно извилистые с одной вершиной – кривостеночный тип 1-го порядка, *Cardaria draba*, *Chorispora tenella* и *Sisymbrium altissimum* – кривостеночный тип 2-го порядка (с двумя вершинами), *Lepidium perfoliatum* – кривостеночный тип 3-го порядка (с тремя вершинами). У вида *Syrenia montana* (рис. 7) прямолинейный тип прямолинейного клана – стенки паренхимных клеток строго прямолинейные, форма многоугольная, межклетники отсутствуют.

Устьичные клетки также характеризуются своеобразными формами и строением, что создает благоприятные условия для их диагностирования. Различают большое разнообразие типов устьиц: чечевицевидные – равноутолщенные, сферовидные – равноутолщенные; сферовидные – неравноутолщенные; гантелевидные; бахромчатовидные; колпачковидные; коромысловидные и другие, но у всех изученных видов семейства Капустные тип устьиц одинаков – чечевицевидный равноутолщенный.

Наиболее ярким и специфическим признаком для определения семейств, родов и даже видов растений являются трихомы – производные эпидермальных клеток в виде выростов, отличающихся по форме и строению. Они отличаются большим разнообразием даже в пределах изучаемого семейства. Конусовидный клан (волоски на верхушке которых оканчиваются тупым или острым концом), группа одноклеточные конические отмечен у *Syrenia montana* и *Cardaria draba*. Ветвистовидный клан (многоклеточные и одноклеточные волоски, разветвленные по ярусам), группа ярусовветвистообразные, тип одно-двухярусовветвистый отмечен у *Descurainia sophia*. *Alyssum desertorum* относится к розетовидному клану (концы отдельных клеток заостренные или закругленные, в центре может присутствовать группа клеток), группе звездообразные, типу одноклеточные звездочки. Железистовидный клан (одноклеточные или

многоклеточные образования, содержащие эфирные масла, алкалоиды и др.), группа сферообразные, тип сфероидные трихомы отмечен у *Chorispora tenella*.

Заключение

В данной статье рассмотрены особенности кутикулярной структуры эпидермиса некоторых видов семейства Капустные, сходных по строению устьичного аппарата и отличающихся строением основоположных клеток и трихом. Основоположные клетки семейства Капустные как прямолинейного, так и криволинейного очертания. К прямолинейному клану относится один вид (*Syrenia montana*), к криволинейному – все остальные. По типу устьиц – чечевицевидные, равноутолщенные. Трихомы отличаются большим разнообразием в пределах данного семейства. Строение одноклеточное и многоклеточное, форма разнообразная: коническая, ветвистая, звездообразная, сферообразная.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шакрыл А.К. Эпидермис лавровых для диагностики некоторых ископаемых видов / А.К. Шакрыл. Академия наук Груз.ССР. Сухум. ботан. сад. – Тбилиси: Мецниереба. 1965. – 79 с.
2. Cutler D.E. Anatomy of the Monocotyledons / D.E. Cutler. IV Jancals. Oxford. 1969.
3. Эзау К. Анатомия семенных растений / К. Эзау. Книга 2. М.: «Мир». 1980. – 400 с.
4. Анели Н.А. Атлас эпидермы листа / Н.А. Анели. Тбилиси: Мецниереба, 1975. – 109 с.
5. Абатуров Б.Д. Сравнительная оценка рациона свободнопасущегося сайгака (*Saiga tatarica*) микроскопическим анализом растительных остатков в фекалиях и визуальным подсчетом поедаемых растений / Б.Д. Абатуров, Б.И. Петрищев // Зоологический журнал. 1998. Т. 77. № 8. С. 964-970.
6. Ларионов К.О. Питание сайгаков (*Saiga tatarica*) на пастбищах Черных земель Калмыкии в условиях восстановительной смены растительности и остепнения / К.О. Ларионов, Р.Р. Джапова, С.Б. Розенфельд и др. // Зоологический журнал. 2008. С. 1155-1280.
7. Розенфельд С.Б. Атлас микрофотографий кутикулярной структуры эпидермиса кормовых растений позвоночных фитофагов тундровой и степной зон Евразии / С.Б. Розенфельд. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2011.
8. Джапова Р.Р. Атлас эталонных образцов кутикулярной структуры эпидермиса различных видов растений степной и пустынной зон / Р.Р. Джапова, Е.Ч. Аюшева, О.Г. Бембеева и др. Элиста: Изд-во Калм. ун-та. 2019. – 94 с.
9. Джапова Р.Р. Оценка рациона растительноядных животных методом микрогистологического кутикулярного копрологического анализа / Р.Р. Джапова, Е.Ч. Аюшева, О.Г. Бембеева и др. Учебное пособие. Элиста: Изд-во Калм. ун-та. 2020. – 82 с.
10. Mattocks J.G. Goose feeding and cellulose digestion / J.G. Mattocks // J. Wildl. 1971. Vol. 22. P. 107-113.
11. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С. К. Черепанов. Л.: Наука, 1995. – 990 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shakryl A.K. Ehpidermis lavrovyykh dlja diagnostiki nekotorykh iskopayemykh vidov. Akademija nauk Gruz.SSR [The epidermis of laurels for the diagnosis of some fossil species. Academy of Sciences of the Georgian SSR] / A. K. Shakryl. - Tbilisi: Metsniereba. 1965. - 79 p. [in Russian]
2. Cutler D.E. Anatomy of the Monocotyledons / D.E. Cutler. IV Jancals. Oxford. 1969.
3. Ezau K. Anatomija semennykh rastenij [Anatomy of seed plants] / K. Ezau. Book 2. M.: "Mir". 1980– 400 p. [in Russian]
4. Aneli N.A. Atlas ehpidermi lista [Atlas of the epidermis of the leaf] / N. A. Aneli. Tbilisi: Metsniereba, 1975– 109 p. [in Russian]
5. Abaturov B.D. Sravnitel'naja ocenka racionala svobodnopasushhegosja sajjgaka (*Saiga tatarica*) mikroskopicheskim analizom rastitel'nykh ostatkov v fekalijakh i vizual'nym podschetom poedaemykh rastenij [Comparative assessment of the diet of free-grazing saiga (*Saiga tatarica*) by microscopic analysis of plant residues in faeces and visual counting of plants eaten] / B.D. Abaturov, B.I. Petrishchev // Zoologicheskij zhurnal [Zoological Journal]. 1998. Vol. 77. No. 8, pp. 964-970 [in Russian]
6. Larijonov K.O. Pitanie sajjgakov (*Saiga tatarica*) na pastbishhakh Chernykh zemel' Kalmykii v uslovijakh vosstanovitel'noj smeny rastitel'nosti i ostepnenija [Nutrition of saiga (*Saiga tatarica*) on the pastures of the Black lands of Kalmykia under conditions of restorative vegetation change and settling] / Larijonov, K.O., Dzhapova R.R., Rosenfeld S.B. et al. // Zoologicheskij zhurnal [Zoological Journal]. 2008, pp. 1155-1280 [in Russian]
7. Rosenfeld S.B. Atlas mikrofotografij kutikuljarnoj struktury ehpidermisa kormovykh rastenij pozvonochnykh fitofagov tundrovoy i stepnoj zon Evrazii. Ehlektronnoe izdanie [Atlas of microphotographs of the cuticle structure of the epidermis of forage plants of vertebrate phytophages of tundra and steppe zones of Eurasia. Electronic edition] / S. B. Rosenfeld // Moscow: Tovarishhestvo nauchnykh izdaniij KMK. 2011. [in Russian]
8. Dzhapova R.R. Atlas ehtalonnykh obrazcov kutikuljarnoj struktury ehpidermisa razlichnykh vidov rastenij stepnoj i pustynnoj zon [Atlas of reference samples of the cuticular structure of the epidermis of various plant species of steppe and desert zones] / R.R. Dzhapova, E. Ch. Ayusheva, O.G. Bembeeva, et al. Elista: Kalmyk University Publishing House. 2019– 94 p. [in Russian]
9. Dzhapova R.R. Ocenka racionala rastitel'nojadykh zhivotnykh metodom mikrogistologicheskogo kutikuljarnogo koprologicheskogo analiza [Evaluation of the diet of herbivorous animals by the method of microhistological cuticular coprological analysis] / R.R. Dzhapova, O.G. Bembeeva, E.Ch. Ayusheva, et al. / Textbook. Elista: Kalmyk University Publishing House. 2020 – 82 p. [in Russian]
10. Mattocks J.G. Goose feeding and cellulose digestion / J.G. Mattocks // J. Wildl. 1971. Vol. 22. P. 107-113.
11. Cherepanov S. K. Sosudistye rastenija Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)] / S. K. Cherepanov. L.: Nauka, 1995 – 990 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.015>**СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ ДИНАМИКИ В ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА**

Научная статья

Мельников Ю.И.*

ORCID 0000-0001-5302-9913,

Байкальский музей Иркутского научного центра, Листвянка, Россия

* Корреспондирующий автор (yumel48[at]mail.ru)

Аннотация

Работа выполнена на ключевом участке площадью более 50 км² в междуречье Никольской Банной и Крестовой на правобережье истока р. Ангары (Южный Байкал) в 2010-2020 гг. Исследования проведены в зимний и ранневесенний, а также летний (гнездовой) периоды на основе стандартной методики, используемой в России для этих целей. Специальными учетными маршрутами, пропорционально доле выделенных местообитаний, охвачена вся территория ключевого участка. Исследования приходятся на период сильного потепления близкого к максимуму, вероятнее всего многовекового, но не ниже векового, цикла климата. Показано, что динамика плотности населения и видового разнообразия птиц лесных экосистем в зимний и летний периоды очень сильно различается. Для летнего периода характерны волнообразные (циклические) изменения, без выраженного тренда. В зимний период, наоборот, проявляется хорошо выраженный тренд к заметному уменьшению данных показателей. Различные реакции птиц на эти изменения климата, несомненно, определяются исходными факторами, действующими в их ареалах. В летний период они связаны с иссушением территории Центральной Азии и выселением птиц к северу. В зимний период, они обусловлены, преимущественно, ситуациями в зимовочных ареалах, которые также сместились к северу (даже у оседлых видов птиц).

Ключевые слова: Восточная Сибирь, лесные экосистемы, изменения климата, птицы, сезоны года, плотность населения, видовое разнообразие, различия в реакциях птиц по сезонам года.

SEASONAL VARIABILITY OF THE BIRD POPULATION OF THE FOREST ECOSYSTEMS OF EASTERN SIBERIA AND FEATURES OF ITS DYNAMICS DURING THE CLIMATE WARMING PERIOD

Research article

Melnikov Yu.I.*

ORCID 0000-0001-5302-9913,

Baikal Museum of the Irkutsk Scientific Center, Listvyanka, Russia

* Corresponding author (yumel48[at]mail.ru)

Abstract

The job is done on a key site with an area of more than 50 km² in the interfluvium of Nikolskaya Bannaya and Krestovaya on the right bank of the source of the Angara River (Southern Baikal) in the period from 2010 to 2020. The studies were carried out in the winter and early spring, as well as in the summer (nesting) periods on the basis of the standard methodology used in Russia for these purposes. The entire territory of the key site is covered with special accounting routes, in proportion to the share of allocated habitats. The studies fall on a period of strong warming close to the maximum, most likely a centuries-old, but not lower than a century-old, climate cycle. It is shown that the dynamics of population density and species diversity of birds in forest ecosystems in winter and summer are very different. The summer period is characterized by wave-like (cyclical) changes without a pronounced trend. In winter, on the contrary, there is a well-pronounced trend towards a noticeable decrease in these indicators. The different responses of birds to these climate changes are undoubtedly determined by the initial factors observed in their habitats. In summer, they are associated with the drying up of the territory of Central Asia and the migration of birds to the north. In winter, they are mainly caused by situations in wintering areas, which have also shifted to the north (even in sedentary bird species).

Keywords: Eastern Siberia, forest ecosystems, climate changes, birds, seasons, population density, species diversity, differences in bird reactions by season.

Введение

Вторая половина XX и начало XXI столетий в Восточной Сибири, в т.ч. и на озере Байкал, характеризуются очень сильным потеплением климата, ярко проявившимся в 70-х годах прошедшего столетия и продолжающимся в настоящее время. Оно значительно выше, чем в соседних регионах, что существенно сказывается на различных параметрах природных экосистем. В среднем по Северному полушарию Земли потепление составило 0,7°/100 лет, но в Восточной Сибири оно превысило 1,9°/100 лет (за период 1968-2007 гг.), т.е. больше, чем в 2,7 раза [4], [5], [32]. В настоящее время оно выражено еще сильнее, поскольку последнее десятилетие было наиболее теплым за весь период инструментального изучения климата [2], [10].

Современное потепление наиболее сильно проявляется в поздnezимний и ранневесенний периоды. По прогнозу ведущего специалиста в области солнечно-земных связей и климатических исследований – академика РАН Г.А. Жеребцова, пик современного потепления климата должен приходиться на 2016 г. [4], [5]. Такого же мнения придерживаются и другие специалисты [11], [16], [20], [22]. В тоже время, точно спрогнозировать такое явление очень сложно. Пики и депрессии в динамике климата обычно выявляются только на основе ретроспективных анализов длительных периодов исследований. Однако современная климатическая ситуация приводит к выводу, что пик уже прошел или будет в ближайшие годы.

Птицы – один из наиболее мобильных элементов экосистем и способны очень чутко и быстро реагировать на климатические изменения. Это было очень хорошо показано в ряде специальных работ по летнему населению птиц Сибири, но они, по большей части, относятся к околоводным и водоплавающим птицам [11], [16], [20]. В тоже время, птицы лесных экосистем в этом отношении изучены значительно хуже, хотя в последнее время появилось несколько крупных работ, в которых рассматриваются особенности динамики их видового состава в зависимости от климатической ситуации [8], [18], [24], [34]. Однако, подобные анализы часто поверхностны и недостаточны для решения ряда вопросов, связанных с изучением влияния потепления климата на динамику фауны птиц. Крайне недостаточна и проработка вопросов сезонной изменчивости подобного влияния.

В данном случае, надо иметь в виду, что по сравнению с летним населением, зимнее население птиц лесных экосистем этого региона охвачено долговременными исследованиями, приходящимися на период максимального потепления климата, в значительно меньшей степени. В связи с этим, результаты наших работ по изучению птиц лесных экосистем Южного Байкала (как в зимнее, так и летнее время), включающие период максимального потепления климата, представляют несомненный интерес для специалистов, занимающихся выяснением его влияния на природные экосистемы.

Район работ, материал и методика

Специальные исследования многовидовых сообществ птиц лесных экосистем Восточной Сибири проведены на оз. Байкал в 2010-2020 гг. текущего столетия. Исток р. Ангары (Южный Байкал) разрывает Приморский хребет в наиболее узкой его части. Здесь проходит юго-западная граница слабо всхолмленной Предбайкальской впадины. Для неё очень характерны широкие заболоченные долины рек с невысокими и плоскими междуречьями, покрытыми сосновыми и сосново-березовыми лесами. По мере приближения к Приморскому хребту местность постепенно повышается, долины рек становятся узкими, а распадки глубокими.

Ключевой участок, выбранный для изучения плотности, видового разнообразия и структуры населения птиц данного района, обращен к оз. Байкал и истоку р. Ангары (правый берег) и непосредственно примыкает к осевой линии Приморского хребта. Его границами являются два относительно крупных распадка – Никольская Банная и Крестовка. Водораздел между большими распадками относительно пологий и расчленен боковыми ключами на несколько сегментов, различающихся рельефом и преобладающим типом растительного покрова. Максимальная высота водораздела между этими речками достигает 810 м, а высоты Приморского хребта вместе формирования истоков данных речек – 973 м и 1002 м. Общая площадь ключевого участка составляет более 50 км² (без учета крутизны склонов).

На территории ключевого участка преобладают древостой из сосны обыкновенной (лесной) *Pinus silvestris* L. и сосново-березовые леса. Состав их очень сложен и включает практически все породы деревьев, встречающиеся в Предбайкалье. Наиболее обычны в их структуре лиственница сибирская *Larix sibirica* Ledeb., береза повислая *Betula pendula* Roth., осина *Populus tremula* L. и сосна сибирская (кедр) *P. sibirica* Du Tour. На узких гребнях водоразделов между небольшими ключами обычны леса с рододендром даурским *Rhododendron dauricum* L. На участках с разреженными древостоями обычна спирея средняя *Spiraea media* Franz. Schmidt., а также кизильники черноплодный *Cotoneaster melanocarpa* Fisch. Ex Blytt. и блестящий *C. lucidus* Schltol. Сосновые леса представлены брусничными, разнотравными и бергениевыми ассоциациями, среди которых встречаются отдельными куртинами черника *Vaccinium myrtillus* L. и брусника *Vaccinium vitis-idea* L. Сосново-березовые насаждения повсеместно представлены различными вариантами разнотравных лесов. Все леса, за исключением отдельных участков зеленомошных ассоциаций, расположенных по склонам ключей, пройдены низовыми пожарами разной давности.

Вся прибрежная полоса озера Байкал и истока реки Ангары занята небольшими населенными пунктами и дачными поселками, а также многочисленными санаториями, гостиницами и домами отдыха, расположенными среди леса. Большая фрагментарность селитебной территории и ленточный характер ее застройки, наряду с искусственными посадками плодоносящих кустарников, значительно улучшают условия для зимующих птиц и увеличивают состав, обитающих здесь видов.

На территории данного ключевого участка с использованием кластерного анализа выделено восемь основных типов местообитаний птиц [27]. Они включают: селитебную территорию, сосново-березовые леса с подростом сосны сибирской (кедра), еловые пойменные, смешанные темнохвойные, осиново-березовые, сосновые, сосново-березовые леса и открытые поймы рек [17]. В процессе учетных работ ключевой участок покрывался сетью маршрутов, равномерно охватывающих всю его территорию. Использовалась стандартная методика учетных работ, широко применяющаяся орнитологами России, с расчетом ширины учетной полосы на основе средней гармонической из расстояний обнаружения птиц [30]. Применявшиеся методики расчета основных показателей населения птиц хорошо сочетаются с ранее использовавшимися подходами [28], [29]. Вместе с тем, нами внесены и определенные дополнения в методику проведения учетных работ [17], [19], [21], [23]. Кроме того, учтены рекомендации и замечания зарубежных исследователей, разрабатывавших специальные подходы к учетам птиц в многовидовых сообществах [1]. Данные изменения, в основном, касаются периодичности учетных работ, выделения арен экстраполяции, определения необходимого объема учетного материала, закладки и протяженности учетных маршрутов.

После нескольких лет работы нами у всех видов птиц проведен пересчет ширины учетной полосы для каждого местообитания, что увеличило точность определения плотности населения птиц и ее ошибки [1], [21], [23], [33]. Для снижения ошибки данных показателей у малочисленных и редких видов птиц, число их встреч должно быть очень большим (не менее 30, а лучше 100-120). В таких случаях, выходом является резкое увеличение общей протяженности маршрутов по конкретным местообитаниям или лет постоянных наблюдений (увеличивается вероятность встречи вида). Это еще раз подчеркивает большую важность организации долговременных исследований многовидовых сообществ птиц. В тоже время, общая плотность населения птиц определяется с небольшой ошибкой - количество

встреч всех видов всегда достаточно велико, не менее нескольких сот, а иногда и тысяч особей [1], [21], [23], [33]. Это позволяет, во всех случаях, определять ее очень точно.

Анализ метеорологических показателей выявил на протяжении последних десятилетий ярко выраженный тренд к потеплению климата (прежде всего, температура приземного слоя воздуха). Особенно хорошо он проявляется (как зимой, так и летом) в последнее десятилетие [2], [10], [33]. Это позволяет для первых анализов структурных показателей населения птиц использовать только временной ряд изучаемого признака. Его обработка дает возможность выявлять наиболее существенные связи между общей динамикой климатических факторов и основными структурными показателями сезонной динамики населения птиц лесных экосистем.

Общая протяженность маршрутов за весь период работ составляла 5398,6 км (зимой 2718,6 км, летом – 2680,0 км). Статистический анализ собранных материалов проведен с использованием стандартных методов [7], [27]. Видовой состав и порядок описания видов приведены по последним сводкам птиц Российской Федерации и Сибири [9], [31].

Результаты

Исследование птиц лесных экосистем (2010–2020 гг.) низкогорий правобережья истока р. Ангары и прилегающей территории (ФГНУ «Заповедное Прибайкалье») позволило выявить общую динамику основных показателей их населения – плотности населения и видового богатства, как в летний, так и зимний периоды. В зимний период за период работ на ключевом участке было зарегистрировано 73 вида птиц, а в летний – 117 видов. Основу их населения составляют обычные и массовые виды птиц Восточной Сибири.

Динамика летнего населения птиц лесных экосистем

За весь период исследований, как указано выше, в летнее время на ключевом участке было зарегистрировано 117 видов птиц. В периоды максимального обилия плотность их населения в разных циклах общей динамики населения (прослежено два цикла), была очень близкой (рис. 1). Специальный анализ показал, что прямолинейная связь плотности населения птиц с временным периодом исследований, характеризующимся ярко выраженной тенденцией к потеплению климата, в летнее время отсутствует. Однако для данного времени выявлена циклическая связь (полиномиальная регрессия 6-ой степени) среднего уровня – коэффициент детерминации выбирает 44,0 % общей изменчивости взаимосвязанных признаков (рис. 1).

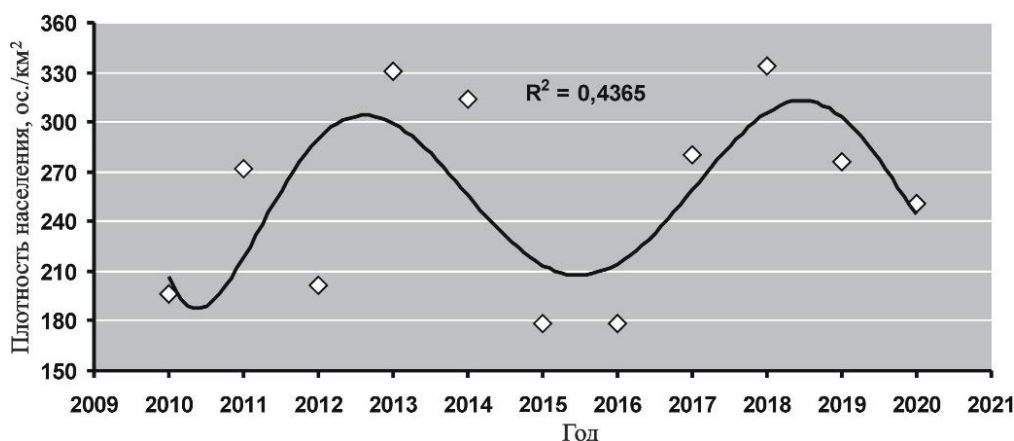


Рис. 1 – Динамика плотности населения птиц низкогорий правобережья истока р. Ангары в летний период (2010–2020 гг.).

Характерно, что пики плотности населения птиц приходятся на периоды, отличающиеся более высокими приземными температурами воздуха [15]. Возможно, такая динамика плотности населения птиц обусловлена переходным периодом от потепления к похолоданию климата. Во всяком случае, в последнее десятилетие в отдельных районах Восточной Сибири отмечается явная пауза в его потеплении, что может свидетельствовать о постепенном переходе к более влажному периоду очередного цикла климата высокого уровня [2], [6], [15], [25]. Это подтверждается и близкими значениями плотности населения птиц за предыдущие периоды инструментальных наблюдений в годы с высокими приземными температурами воздуха.

Одной из характеристик изучаемого явления может служить появление новых видов по мере развития общего тренда к потеплению климата, связанное с изменением границ их ареалов (смещение к северу) [16], [20], [22]. Однако, в большинстве случаев, новые виды являются залетными и только иногда наблюдаются эпизодические случаи их гнездования. Особенно ярко это проявляется у околотовных и водоплавающих птиц в начальные периоды массовых освоений новых участков ареалов [11], [16], [20], [22]. В тоже время, в составе птиц лесных экосистем новых видов, по сравнению с прибрежными птицами, значительно меньше. Нами на ключевом участке в истоке р. Ангары в настоящее время зарегистрировано 29 новых и залетных видов. Из них 24 вида характерны для всего Предбайкалья или только для юго-западного побережья оз. Байкал. Кроме того, прослеживается явное смещение к северу границ распространения и гнездования наиболее обычных и массовых видов оседлых птиц: длиннохвостая синица *Aegithalos caudatus*, L., москковка *Parus ater* L., и большая синица *Parus major* L., [3], [18], [24].

Всего, из 29 видов, встречающихся в лесных экосистемах Прибайкалья в качестве новых и залетных для второй половины XX – начала XXI столетий, только 5 видов являются общими с прошедшим периодом. Они зарегистрированы здесь и в конце XIX – первой половине XX столетия (зяблик *Fringilla coelebs* L., восточная дроздовидная камышевка *Acrocephalus orientalis* Temm. et Schleg., рыжая овсянка *Ocyris rutilus* Pal., серая славка *Sylvia communis* Lath. и

обыкновенная иволга *Oriolus oriolus* L.) [4]. Только два из этих видов – зяблик и рыжая овсянка широко распространились по территории и резко увеличили свою численность. Три других вида является малочисленными гнездящимися видами рассматриваемого региона. Однако, надо иметь в виду, что ранее они были либо очень редкими, либо относились исключительно к залетным птицам. Все остальные 24 вышеперечисленных вида являются новыми для Предбайкалья. Для некоторых из них в последние годы отмечено гнездование на ключевом участке (немой перепел, вяхирь, клинтух, китайская желтая трясогузка, голубая сорока, обыкновенный сверчок, обыкновенная зеленушка, коноплянка). В тоже время, на соседних территориях некоторые из данных видов являются более обычными гнездящимися, пролетными или летующими птицами, в отдельных случаях достигающими достаточно высокой численности (немой перепел *Coturnix japonica* Temm. et Schleg, обыкновенный сверчок *Locustella naevia* Bod.). Учитывая небольшую площадь ключевого участка, необходимо признать, что изменения в ареалах птиц лесных экосистем в летний период, несомненно, существуют и достаточно хорошо выражены.

Связь динамики видового богатства птиц с общей тенденцией к потеплению климата в летний период более существенная. Коэффициент детерминации выбирает 65,0 % общей изменчивости данных признаков, но прямолинейная связь также отсутствует (рис. 2). Это понятно, поскольку видовое богатство должно быть связано с плотностью населения птиц – связь обычно повышается по мере увеличения количества зарегистрированных видов. Однако, она в нашем случае не вполне очевидна. В период резкого снижения плотности населения птиц (2015-2016 гг.) (рис. 1) видовое богатство оставалось на достаточно высоком уровне, даже на небольшом отрезке временного периода между очередными циклами. В тоже время, общая тенденция к его понижению улавливается довольно хорошо (рис. 2). Вероятнее всего, динамика этого показателя в летний период на ключевом участке отражает общую тенденцию изменения видового состава птиц на территории всей Восточной Сибири. Птицы перемещаются из южных участков ареалов волнами северных направлений, связанными с районами формирования сильных обширных засух и длительных маловодных периодов.

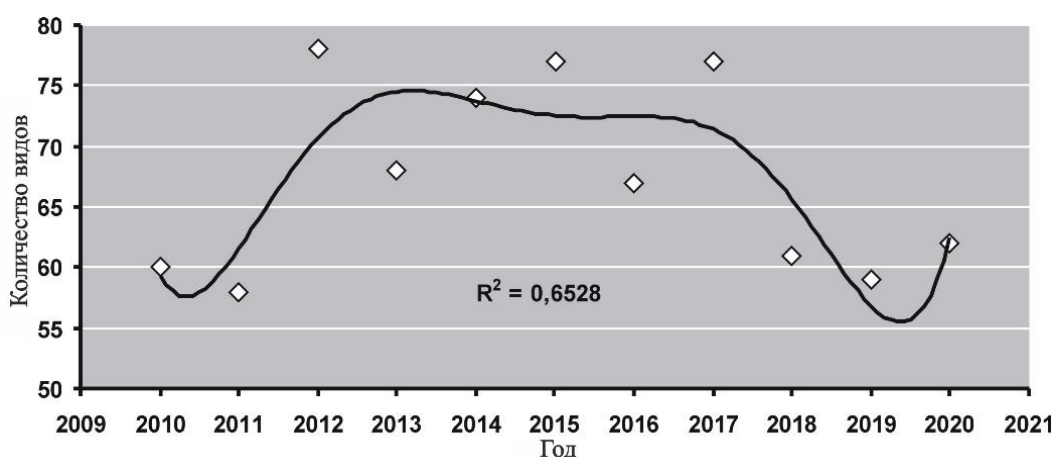


Рис. 2 – Динамика количества видов птиц низкотерриторий правобережья истока р. Ангары в летний период (2010-2020 гг.).

Парный коэффициент корреляции плотности населения птиц и видового богатства в летний период, рассчитанный по Л. Закс [7], является низким, но достоверным и имеет отрицательное направление, $r = -0,21$, $t = 0,643 > 0,602 = t_9$, $P < 0,05$. Явно, увеличение плотности населения птиц в зависимости от количества зарегистрированных видов может продолжаться только до определенного предела. Снижение видового богатства в конце периода наблюдений, сопровождаемое уменьшением общей плотности населения птиц (рис. 1, 2), вполне очевидно обусловлено тем, что тенденция к потеплению климата в настоящее время уже заканчивается (отрицательный коэффициент достоверной корреляции). Необходимо помнить, что увеличение видового богатства птиц было обусловлено их выселением, преимущественно, с южных участков ареалов, охваченных сильными засухами [11], [18], [22], [24].

Динамика зимнего населения птиц лесных экосистем

В зимний период на территории ключевого участка зарегистрировано 73 вида птиц. Для него характерны очень суровые условия, связанные с континентальным климатом региона. Под непосредственным воздействием климата оз. Байкал, близкого к приморскому, находятся лишь склоны, обращенные к нему, а по открытым долинам рек его влияние распространяется до 40,0 км от побережья [20], [22], [32]. В зимний период проявляется четкая линейная связь уменьшения плотности населения птиц лесных экосистем по мере потепления климата. Коэффициент детерминации выбирает $R^2 = 55,0$ % общей изменчивости данных параметров (рис. 3).

Пики плотности зимнего населения птиц приходятся, как на теплые, так и холодные зимы. Причина этого пока до конца не ясна, однако надо иметь в виду, что зимнее население формируется, преимущественно, оседлыми видами птиц и массовыми видами более северных территорий, остающимися здесь на зимовку в годы высокого обилия кормов (обыкновенная чечетка *Acanthis flammea* L., свиристель *Bombycilla garrulus* L. и полевой воробей *Passer montanus* L.) [17], [18], [20], [22]. Последний вид регистрируется только в пределах селитебных территорий.

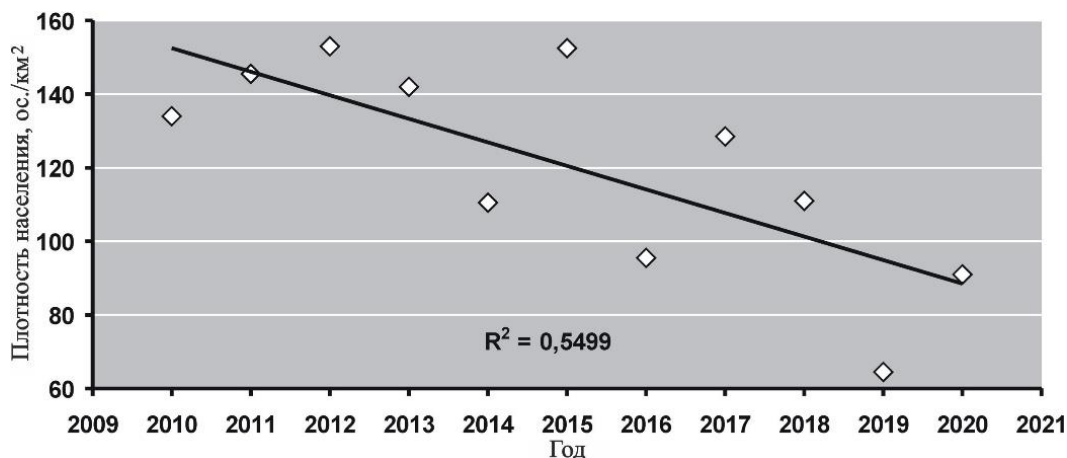


Рис. 3 – Динамика плотности населения птиц низкогорий правобережья истока р. Ангары в зимний период (2010-2020 гг.).

Сезоны с высоким обилием кормов, в частности семян березы повислой, яблони ягодной *Malus baccata* (L.) Borkh., рябины сибирской *Sorbus sibirica* Hedl. и черемухи азиатской *Padus asiatica* Com., привлекают, вне зависимости от погодных условий, большое количество перемещающихся на «холодную» зимовку птиц, прежде всего свиристеля и обыкновенную чечетку, отличающихся очень высокой численностью [17], [20], [23]. Кроме того, очевидно, существует определенный температурный оптимум, которого придерживаются зимующие птицы [21]. На это указывает и процесс их расселения по гнездовым стациям в ранневесенний период. В настоящее время, наблюдается подлет оседлых птиц для гнездования на ключевом участке с северных направлений. Данный процесс хорошо заметен только у наиболее многочисленных видов птиц, относящихся к категории оседлых, формирующих основное ядро их зимнего и летнего населения. В нашем случае это хорошо выявляется у московки и ополовника и, в значительно меньшей степени, у большой синицы и буроголовой гаички (пухляка) *Parus montanus* Bal. Вполне очевидно, что оптимумы их ареалов в зимний период смещаются в северном направлении.

Так же, как и в летний, в зимний период увеличилось видовое богатство птиц. В составе 73 видов зимующих птиц нами зарегистрировано 28 новых видов. Такое их количество для зимнего времени, с учетом очень суровых условий существования в этот период, несомненно, является очень большим. Новые виды зимующих птиц нельзя считать залетными, хотя их численность, как правило, очень низка. Основную часть таких видов, согласно нашей классификации структуры зимнего населения, составляют вынужденно зимующие и случайно зимующие птицы [19], [23]. Из общего количества зарегистрированных новых зимующих видов (28) в период зимовки отмечены здесь впервые 24 вида. Однако, все эти 24 новых вида встречались на данной территории в периоды миграций, гнездования, а также в категориях летующих или даже зимующих птиц других регионов (как правило, более южных) [17], [23], [24]. Только четыре зимующих вида не были ранее отмечены на юго-западном побережье Байкала или в Предбайкалье (в конце XIX – первой половине XX столетий): вяхирь *Columba palumbus* L., амурский свиристель *Bombicilla japonica* Sieb., сизый дрозд *Turdus hortulorum* Scl. и обыкновенная зеленушка *Chloris chloris* L.

Среди новых видов только два достигают высокой численности. Полевой воробей иногда входит в категорию доминантных видов, но чаще относится к субдоминантным птицам. Щур чаще всего является фоновым видом, но в последние годы иногда входит в категорию субдоминантных птиц. Все остальные виды отличаются крайне низким обилием и встречаются отдельными особями, парами и небольшими группами от 3-4 до 10-15 птиц. Из этих же 28 новых видов только 6 видов птиц встречаются за пределами населенных пунктов. Это либо хищные птицы, либо потребители рябины и черемухи, а князек нередко кормится среди пойменных ивняков, разыскивая места зимовок различных насекомых.

Очень характерным является присутствие основной части новых зимующих птиц только в населенных пунктах – 22 вида. Здесь очень хорошая и доступная кормовая база (они относятся к плодоядным, зерноядным и семеноядным птицам). Кроме того, на побережье оз. Байкал в раннезимний период существенно теплее (+4.0-8.0° C), так как здесь долго сохраняются, за счет обогревающего эффекта огромной массы прогретой летом воды, положительные температуры приземного слоя воздуха. На удалении от Байкала температура приземного слоя воздуха в это же время составляет -12.0 - -16.0° C. По своей сути, побережье озера поздней осенью и в начале зимы в это время представляет огромную экологическую ловушку. Последние осенние мигранты, которым нужна длительная остановка на отдых и пополнение энергетических ресурсов, попадая на побережье, надолго здесь задерживаются. К тому времени, когда они, накопив достаточное количество пластических веществ, способны продолжить миграцию, она уже становится невозможной. Везде лежит снег и устанавливаются устойчивые отрицательные температуры воздуха. Следовательно, все такие «холодные» зимовки птиц являются вынужденными [19], [23].

Высокое видовое богатство зимующих птиц, несомненно, связано с физико-географическими условиями участка работ. На его южной окраине находится крупный населенный пункт, отличающийся диффузной застройкой. Основная часть зданий окружена плодово-ягодными кустарниками искусственного происхождения и участками естественных лесных насаждений, типичных для данного региона (дендрологический парк Байкальского музея). Кроме того, он выходит на побережье оз. Байкал в районе истока р. Ангары. Богатый видовой состав птиц определяется здесь не только общим потеплением климата, но и специфическими условиями района работ, связанными с обогревающим влиянием оз. Байкал в позднеосенний и раннезимний периоды.

Только здесь на крутых остепненных склонах гор, обращенных к оз. Байкал, отмечаются в период зимовки три вида овсянок. Здесь же, среди плодово-ягодных кустарников и небольших деревьев зимуют все виды дроздов. Они могут

свободно перемещаться между поселками, осваивая отдельные более продуктивные участки, время от времени возвращаясь к дендрологическому парку. Основная часть встреч дроздов, ранее практически не отмечавшихся в зимний период (единичные наблюдения рябинников), приходится на первую половину работ, в которой наблюдался короткий период очень высоких температур приземного слоя воздуха [10], [15], [21], [23]. Несмотря на повышение комфортности зимних условий для птиц, обеспечивающих более благоприятные условиями зимовки, обычно численность их здесь низка. Они встречаются на «холодных» зимовках только на отдельных локальных участках, отличающихся от остальной территории более благоприятными температурными условиями, в сочетании с достаточным количеством кормов.

Связь видового богатства птиц с общей тенденцией к потеплению климата в зимний период, также является линейной, но выражена существенно слабее летнего периода. Коэффициент детерминации выбирает только 39,0 % их общей изменчивости (рис. 4). Вероятно, это связано с тем, что видовое богатство птиц в зимнее время значительно меньше, чем в летний период (рис. 2 и 4), а реакция птиц на температуру приземного слоя воздуха менее определенная. Необходимо отметить, что увеличение видового богатства птиц в этот период идет, преимущественно, за счет случайно и вынужденно зимующих птиц, задержавшихся с отлетом в очень теплые осени. Значительную роль в этом процессе играют сезоны с высоким обилием кормов, но менее благоприятными температурными условиями «холодной» зимовки. В таких случаях наблюдается низкое видовое богатство, но высокая общая плотность населения птиц. Видовое богатство значительно повышается в сезоны с очень теплой и продолжительной осенью, но при отсутствии массовых кормов их общая численность быстро снижается – они покидают такие участки.

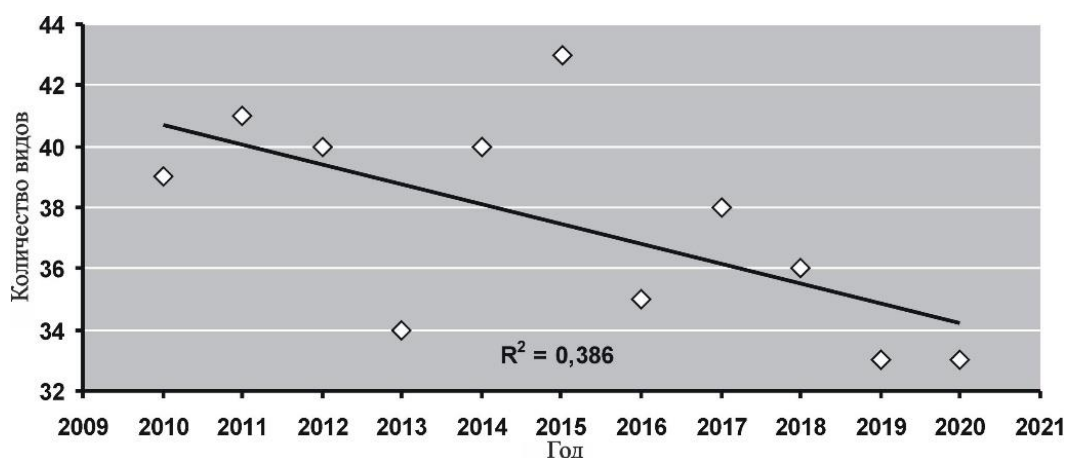


Рис. 4 – Динамика количества видов птиц низкогорий правобережья истока р. Ангары в зимний период (2010-2020 гг.).

Парный коэффициент корреляции плотности населения и видового богатства птиц в зимний период является высоким и положительным - $r = 0,74$, $t = 3,29 > 3,25 = t_0$, а его достоверность высокой - $P < 0,01$. Связь этих параметров является очень сильной, поскольку на локальном участке наблюдений она всегда является достаточно простой. Именно заметное увеличение видового богатства птиц в теплые осени, совпадающее с сезонами, отличающимися хорошей обеспеченностью кормами птиц, подлетевших сюда на «холодную» зимовку, приводят к сильному повышению общей плотности их населения (рис. 3 и 4). Подобная тенденция определяется достаточно низкой зимней плотностью населения птиц в сезоны с более суровыми условиями – с очень низкой температурой приземного слоя воздуха. В тоже время, даже относительно невысокая численность новых видов, при большом их количестве, нередко заметно повышает общую плотность их зимнего населения.

Обсуждение

Общее потепление климата в северном полушарии Земли началось в середине XIX столетия или даже несколько раньше и было очень хорошо заметным в Западной Европе [11]. С этого времени на территории Европы наблюдается продвижение ареалов птиц к северу, обычно связанное с тепло-сухими фазами климатических циклов различных уровней (внутривековых, вековых и многовековых). В Восточной Сибири данные процессы наблюдались позже, но они явно усилились во второй половине XX века. Незначительные изменения в фауне птиц начали отмечаться в первой половине прошедшего столетия, а заметные их перемещения стали регистрироваться в середине XX века (50-е годы) [16], [20], [22], [24]. К концу прошедшего и началу текущего столетий вся Центральная Азия и прилежащие к ней регионы находились под сильным влиянием обширных засух и длительных (по несколько десятилетий) засушливых периодов [2], [5], [26], [32]. Текущее десятилетие В Восточной Сибири было самым теплым за весь период инструментального изучения климата [2], [10], [15], [21]. Явное иссушение территории Восточной Сибири хорошо прослеживается на всех участках северной лесостепи. Здесь полностью исчезли заболоченные территории и мелкие озера, а крупные озерные системы значительно сократились по площади. К настоящему времени произошли существенные изменения ареалов всех видов птиц, а у прибрежных видов их оптимумы ушли к северу на 500-1000 км и более [11], [18], [20], [22], [23].

Многие исследователи считают такие изменения глобальными. Однако, необходимо принимать во внимание, что прибрежные птицы осваивают интразональные местообитания, встречающиеся во всех природных зонах и горных поясах и отличаются высокой динамичностью ареалов. В тоже время, анализ показывает, что современные флуктуации климата еще не привели к существенному изменению границ природных зон [14], [16], [22]. Ареалы исконно степных и пустынных птиц, наиболее мобильной группы животных, не претерпели заметных изменений. Однако участились их

залеты в смежные природные зоны и наблюдается перераспределение по территории ареалов [22]. Кроме того, в отдельные годы последнего десятилетия на юге Забайкалья отмечено появление сажки *Syrnhaptus paradoxus* Pall. – номадного вида засушливых территорий. Низкая численность выселяющихся птиц указывает, что для птиц пустынь и степей характерны высокие устойчивость и уровень адаптаций к обитанию в своих природных зонах (за исключением видов водно-болотных экосистем).

В связи с этим, особый интерес вызывают изменения в плотности и структуре населения птиц лесных экосистем, поскольку они значительно меньше связаны с уровнем обводненности регионов. Анализ имеющихся материалов показывает, что к настоящему времени и в них произошли существенные изменения. Даже на локальных участках отмечено повышение видового богатства за счет птиц, ранее не встречавшихся в Восточной Сибири. Попадание их сюда возможно с любых направлений, поскольку сильными засухами были охвачены все географические районы данного региона. Однако ранее явно преобладали западные и южные направления, а в настоящее время усиливается влияние юго-восточных направлений. Сильное иссушение Центральной Азии, отмечаемое практически всеми исследователями [8], [15], [16], [20], определило массовые перемещения птиц к северу. Для лесных экосистем это, прежде всего, касается лесных массивов среди опустыненных и степных регионов. Кроме того, общее потепление и иссушение территорий, охваченных засухами и долговременными засушливыми периодами, вызывает усиливающееся перемещение лесных птиц из смежных с Центральной Азией географических районов на более обводненные территории [16], [18], [20], [24].

В результате этих процессов видовое разнообразие птиц лесных экосистем в летний период заметно увеличилось. На ключевом участке доля новых видов составляет 24,8% от общего количества зарегистрированных здесь птиц (29 из 117 видов). Это очень близко к общему их количеству на территории Восточной Сибири в настоящее время – 22,6% (110 из 486 видов). Следовательно, процесс расселения этой группы птиц по территории идет достаточно равномерно, что определяется, в первую очередь, очень большой площадью лесов региона и длительным периодом специальных исследований. В тоже время, хорошо видно, что подавляющая часть новых видов отличается низкой численностью, что заметно повышает общее разнообразие птиц, но мало сказывается на их обилии. Важно здесь то, что заметное увеличение видового состава птиц лесных экосистем умеренных широт – действительно процесс выселений из неблагоприятных регионов, охваченных засухами. Данный процесс поддерживается сильным повышением комфортности условий существования в более северных или неблагоприятных для обитания некоторых видов районах, в результате общего потепления климата.

Не менее сложной является и динамика зимнего населения птиц лесных экосистем в условиях заметного потепления климата. Видовое богатство птиц в данный период также значительно возросло. На ключевом участке было зарегистрировано 73 вида птиц, из которых 28 (38,4%) являются новыми в зимний период. На территории всей Восточной Сибири сейчас зарегистрировано 136 зимующих видов, из которых 41 вид (30,2%) отмечен на зимовке впервые. Однако, необходимо иметь в виду, что это виды и ранее встречавшиеся на данной территории. В новых климатических условиях некоторые из них стали оставаться на «холодные» зимовки, формируя группы вынужденно или случайно зимующих птиц. Именно поэтому доля новых видов, по сравнению с их долей в летний период, заметно выше у зимующих птиц.

В действительности, новых видов в зимний период появилось очень мало. Это, как правило, виды, расселяющиеся с западного или восточного направлений, постепенно увеличивающие свою численность на новых участках ареалов. Обычно, они являются парными, что указывает на существование разрыва, появившегося в относительно недавнее историческое время, в некогда обширных и единых ареалах их предковых форм (перепел *Coturnix coturnix* L. – немой перепел *Coturnix japonica* Temm et Schleg., серая куропатка *Perdix perdix* L. – даурская куропатка *Perdix daurica* Pal., обыкновенная зеленушка *Chloris chloris* L. – китайская зеленушка *Chloris sinica* L., черноголовый щегол *Carduelis carduelis* L. – седоголовый щегол *Carduelis caniceps* Vig., обыкновенная чечевица *Carpodacus erythrinus* Pal. – сибирская чечевица *Carpodacus roseus* Pal., горная чечетка *Acanthis flavirostris* L. – обыкновенная чечетка *Acanthis flammea* L., обыкновенный снегирь *Pyrrhula pyrrhula* L. – серый снегирь *Pyrrhula cinerea* Cab. – уссурийский снегирь *Pyrrhula griseiventris* L., синица большая *Parus major* L. – синица восточная *Parus (major) minor* Temm. et Schleg., свиристель *Bombycilla garrulus* L. – свиристель амурский *Bombycilla japonica* Sieb., обыкновенный жулан *Lanius collurio* L. – сибирский жулан *Lanius cristatus* L. и др.). Именно поэтому численность почти всех новых видов зимующих птиц очень низка.

Собственно, «холодные» зимовки основной части новых видов птиц лесных экосистем, только начинающих осваивать новую экологическую нишу, в Восточной Сибири локализованы в районах, отличающихся от окружающих территорий более комфортными температурными и кормовыми условиями. В связи с этим, успешность их перезимовок довольно низка, но части особей это удается. Со временем, при дальнейшем развитии сложившейся ситуации, они могут сформировать крупные группировки зимующих птиц. Хорошо видно, что общая численность зимующих птиц в районах более комфортных (повышенная температура приземного слоя воздуха) условий, полностью определяется обилием доступных кормовых ресурсов. В связи с этим, эволюционные перспективы, в случае очень долговременных изменений климатических условий, имеют немногие виды. Они будут полностью определяться трофическими связями зимующих видов, которые в этот период достаточно специфичны и ограничены (зерноядные, семеноядные, плодоядные и, отчасти, животоядные виды).

Таким образом, в условиях потепления климата во второй половине XX – начале XXI столетий, формирование основных параметров населения птиц лесных экосистем (видовое богатство и плотность населения) в летний и зимний периоды обусловлены разными причинами.

Заключение

Многолетние исследования показывают, что основными причинами различной реакции птиц лесных экосистем Восточной Сибири на происходящие изменения в летнее и зимнее время, но в период хорошо выраженного потепления климата (вторая половина XX – начало XXI столетий), являются исходные факторы, действующие в оптимумах их

ареалов. Динамика основных параметров летнего населения лесных птиц (видовое богатство и плотность населения) умеренных широт определяется процессами их выселений из Центральной Азии в результате сильных засух и долговременных (несколько десятилетий) засушливых периодов. В зимнее время видовое богатство и плотность населения птиц лесных экосистем умеренных широт определяются конкретными факторами среды, действующими в их зимовочном ареале. Следовательно, именно данные факторы (тепло-, влаго- и кормообеспеченность) и определяют различия в реакциях птиц на происходящие изменения в летний и зимний периоды.

В оба сезона года видовое богатство заметно увеличилось (в зимнее время увеличение больше), но их численность, в большинстве случаев, остается очень низкой. Лишь немногие новые виды в условиях сильного потепления климата заметно увеличили свою численность. Каждый такой случай требует специального анализа. В целом, летнее население птиц определяется процессами выселений из Центральной Азии, обусловленными сильным ее иссушением, а зимнее население, в большей степени, потеплением климата умеренных широт.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бибби К. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / К Бибби, М. Джонс, С. Марсен. - М.: Изд-во СОПР, 2000. - 186 с.
2. Вологжина С.Ж. Динамика азиатского антициклона и его влияние на климат и экологию Байкальского региона / С.Ж. Вологжина, И.В. Латышева // Вестн. Заб.ГУ, 2019. - Т. 25, № 3. - С. 4-11.
3. Воробьев К.А. Птицы Якутии / К.А. Воробьев.- М.: Изд-во АН СССР, 1963.-336 с.
4. Гагина Т.Н. Птицы Восточной Сибири (Список и распространение) / Т.Н. Гагина // Тр. госзаповедника "Баргузинский", 1961. - Вып. 3. - С. 99-123.
5. Жеребцов Г.А. Закономерности климатических изменений в XX в. и основные физические процессы, ответственные за эти изменения / Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, С.И. Молодых, О.А. Рубцова // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. - 2011. - Т. 4, № 1. - С. 87-108.
6. Жеребцов Г.А. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана / Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, С.И. Молодых и др. // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. - 2013. - Т. 6, № 1. - С. 61-79.
7. Закс Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. - М.: Статистика. - 1976. - 598 с.
8. Кирилук В.Е. Влияние изменений климата на местообитания и биоту в Даурии / В.Е. Кирилук, Т.Е. Ткачук, О.К. Кирилук // Проблемы адаптации к изменению климата в бассейнах рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты. - Чита: Экспресс- изд., 2012. - С. 46-62.
9. Коблик Е.А. Список птиц Российской Федерации / Е.А. Коблик, Я.А. Редькин, В.Ю. Архипов. - М.: Тов. научн. изд. КМК, 2006. - 256 с.
10. Кочугова Е.А. Изменчивость зимних минимальных температур воздуха в Предбайкалье / Е.А. Кочугова // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. - 2015. - Т. 13. - С. 98-110.
11. Кривенко В.Г. Птицы водной среды и ритмы климата Северной Евразии / В.Г. Кривенко, В.Г. Виноградов. - М.: Наука. - 2008. - 588 с.
12. Латышева И.В. Современные особенности гидрометеорологического режима южного побережья оз. Байкал / И.В. Латышева, В.Н. Синюкевич // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. - 2009. - Т. 2, № 2. - С. 17-33.
13. Латышева И.В. Исследование динамики азиатского антициклона и холодных циркуляционных периодов на территории Иркутской области / И.В. Латышева, К.А. Лощенко, Е.В. Шахаева // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. - 2011. - Т. 4, № 2. - С. 161-171.
14. Леви К.Г. Глобальные природно-климатические изменения в истории Земли – исторический мониторинг природных аномалий в Сибири и возможности их прогноза / К.Г. Леви, С.А. Язев, Н.В. Задонина // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. – Иркутск: Изд-во ИЗК, 2004. – С. 23-46.
15. Лощенко К.А. Региональные особенности синоптических процессов на территории Иркутской области в 2000-2013 гг. / К.А. Лощенко, И.В. Латышева // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. - 2015. - Т. 11. - С. 38-54.
16. Мельников Ю.И. Циклические изменения климата и динамика ареалов птиц на юге Восточной Сибири / Ю.И. Мельников // Орнитогеография Палеарктики: Современные проблемы и перспективы. - Махачкала: Изд-во ДГПУ, 2009. - С. 47-69.
17. Мельников Ю.И. Очерк зимнего населения птиц правобережья истока р. Ангары (Южный Байкал) / Ю.И. Мельников // Байкал. зоол. журн., 2012. - № 2(10). - С. 43-65.
18. Мельников Ю.И. Изменения в зимнем населении птиц Восточной Сибири во второй половине XX – начале XXI столетиях / Ю.И. Мельников // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. - 2013. - Т. 6, № 2. - С. 79-83.
19. Мельников Ю.И. О классификации населения птиц в зимний период / Ю.И. Мельников // Байкал. зоол. журн., 2014. - № 2(15). - С. 7-14.
20. Мельников Ю.И. Современная фауна птиц котловины озера Байкал и особенности ее формирования / Ю.И. Мельников // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. - 2016. - Т. 16. - С. 62-83.
21. Мельников Ю.И. Многолетняя динамика структуры и плотности населения птиц среднегорий Приморского хребта (Южный Байкал) в зимний период (2010-2016 гг.) / Ю.И. Мельников // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. - 2017. - Т. 19, № 2. - С. 63-77.
22. Мельников Ю.И. Новые виды птиц котловины озера Байкал: анализ видовой и экологической структуры / Ю.И. Мельников // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. - 2018. - Т. 24. - С. 25-48.

23. Мельников Ю.И. Особенности формирования зимнего населения птиц озера Байкал в условиях современных изменений климата / Ю.И. Мельников, Т.Н. Гагина-Скалон // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. - 2013. - Т. 6, № 3(1). - С. 46-54.
24. Мельников Ю.И. Птицы озера Байкал (с конца XIX по начало XXI столетия): видовой состав, распределение и характер пребывания / Ю.И. Мельников, Т.Н. Гагина-Скалон // Бюл. МОИП. Отд. биол., 2016. - Т. 121. - Вып. 2. - С. 13-32.
25. Носкова Е.В. Характеристика условий увлажненности территории бессточных озер Торейской равнины с использованием метеорологических данных / Е.В. Носкова, И.Л. Вахнина, К.А. Курганович // Вестн. Заб.ГУ, 2019. - Т. 25, № 3. - С. 22-30.
26. Обязов В.А. Изменение климата и гидрологического режима рек и озер в Даурском экорегионе / В.А. Обязов // Проблемы адаптации к изменению климата в бассейнах рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты. - Чита: Экспресс- изд., 2012. - С. 24-45.
27. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю.А. Песенко. - М.: Наука, 1982. - 287 с.
28. Равкин Ю.С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах / Ю.С. Равкин // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. - Новосибирск: Наука, 1967. - С. 66-75.
29. Равкин Ю.С. К методике учета птиц лесных ландшафтов во внегнездовое время / Ю.С. Равкин, Б.П. Доброхотов // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. - С. 130-136.
30. Равкин Е.С. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. Репринт / Е.С. Равкин, Н.Г. Челинцев.-М: Изд-во Госкомприроды СССР. -1990. -33 с.
31. Рябицев В.К. Птицы Сибири. Справочник-определитель в двух томах / В.К. Рябицев. - М.-Екатеринбург: Изд-во "Кабинетный ученый", 2014. - Т. 2. - 452 с.
32. Шимараев М.Н. Зональная циркуляция атмосферы, климат и гидрологические процессы на Байкале (1968-2007) / М.Н. Шимараев, Л.Н. Старыгина // География и природные ресурсы. - 2010, № 3. - С. 62-68.
33. Mel'nikov Yu.I. The dynamics of the bird population of forest ecosystems in the context of modern climate changes / Yu.I. Mel'nikov // Diversity of soils and biota of Northern and Central Asia: IY All Russian conf. with International participation (15-18 June 2021, Ulan-Ude, Russian). - Ulan-Ude: BSC SB RAS Press, 2021. - P. 308-311.
34. Mel'nikov Yu. Large-scale modern climate change and reactions of steppe birds of Inner Asia / Yu.I. Mel'nikov // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2021. - Vol. 817, 012066

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bibbi K. Metody polevykh ekspeditsionnykh issledovaniy. Issledovaniy i uhety ptic [Field research methods. Research and counts of birds] / K Bibbi, M. Dzhezhons, S. Marsden. - Moscow: SOPR of Publishing house, 2000. - 186 p. [in Russian]
2. Vologzhina S.Zh. Dinamika aziatskogo anticiklona i ego vliyanie na klimat i jekologiju Bajkal'skogo regiona [Dynamics of the Asian anticyclone and its impact on the climate and ecology of the Baikal region] / S.Zh. Vologzhina, I.V. Latysheva // Vestn. Zab.GU [Bul. Zab.GU], 2019. - V. 25, № 3. - P. 4-11. [in Russian]
3. Vorob'ev K.A. Pticy Jakutii [Birds of Yakutia] / K.A. Vorob'ev. - Moscow: AN SSSR of Publishing house, 1963. - 336 p. [in Russian]
4. Gagina T.N. Pticy Vostochnoj Sibiri (Spisok i rasprostranenie) [Birds of Eastern Siberia (List and distribution)] / T.N. Gagina // Tr. goszapovednika "Barguzinskij" [Tr. state reserve "Barguzinsky"], 1961. - V. 3. - P. 99-123. [in Russian]
5. Zherebcov G.A. Zakonomernosti klimaticheskikh izmenenij v XX v. i osnovnye fizicheskie processy, otvetstvennye za jeti izmenenija [Regularities of climatic changes in the XX century. and the main physical processes responsible for these changes] / G.A. Zherebcov, V.A. Kovalenko, S.I. Molodyh et al. // Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Nauki o Zemle [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Earth sciences]. - 2011. - V. 4, № 1. - P. 87-108. [in Russian]
6. Zherebcov G.A. Vliyanie solnechnoj aktivnosti na temperaturu troposfery i poverhnosti okeana [Influence of solar activity on the temperature of the troposphere and ocean surface] / G.A. Zherebcov, V.A. Kovalenko, S.I. Molodyh et al. // Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Nauki o Zemle [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Earth sciences]. - 2013. - V. 6, № 1. - P. 61-79. [in Russian]
7. Zaks L. Statisticheskoe ocenivanie [Statistical estimation] / L. Zaks. - Moscow: Statistika Publ. - 1976. - 598 p. [in Russian]
8. Kiriljuk V.E. Vliyanie izmenenij klimata na mestoobitanija i biotu v Daurii [Impact of climate change on habitats and biota in Dauria] / V.E. Kiriljuk, T.E. Tkachuk, O.K. Kiriljuk // Problemy adaptacii k izmeneniju klimata v bassejnakh rek Daurii: jekologicheskie i vodohozjajstvennye aspekty [Problems of Adaptation to Climate Change in Dauria River Basins: Environmental and Water Management Aspects]. - Chita: Jekspress- izd., 2012. - P. 46-62. [in Russian]
9. Koblik E.A. Spisok ptic Rossijskoj Federacii [List of birds of the Russian Federation] / E.A. Koblik, Ja.A. Red'kin, V.Ju. Arhipov. - Moscow: Tov. nauchn. izd. KMK, 2006. - 256 p. [in Russian]
10. Kochugova E.A. Izmenchivost' zimnih minimal'nyh temperatur vozduha v Predbaikal'e [Variability of winter minimum air temperatures in Cisbaikalia] / E.A. Kochugova // Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Nauki o Zemle [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Earth sciences]. - 2015. - V. 13. - P. 98-110. [in Russian]
11. Krivenko V.G. Pticy vodnoj sredy i ritmy klimata Severnoj Evrazii [Birds of the aquatic environment and the rhythms of the climate of Northern Eurasia] / V.G. Krivenko, V.G. Vinogradov. - Moscow: Nauka Publ. - 2008. - 588 p. [in Russian]
12. Latysheva I.V. Sovremennye osobennosti gidrometeorologicheskogo rezhima juzhnogo poberezh'ja oz. Bajkal [Modern features of the hydrometeorological regime of the southern coast of Lake Baikal] / I.V. Latysheva, V.N. Sinjuevich // Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Nauki o Zemle [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Earth sciences]. - 2009. - V. 2, № 2. - P. 17-33. [in Russian]
13. Latysheva I.V. Issledovanie dinamiki aziatskogo anti-ciklona i holodnyh cikljacion-nyh periodov na territorii Irkutskoj oblasti [Study of the dynamics of the Asian anticyclone and cold circulation periods in the Irkutsk region] / I.V. Latysheva, K.A. Loshchenko, E.V. Shahaeva // Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Nauki o Zemle [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Earth sciences]. - 2011. - V. 4, № 2. - P. 161-171. [in Russian]
14. Levi K.G. Global'nye prirodno-klimaticheskie izmenenija v istorii Zemli – istoricheskij monitoring prirodnyh anomalij v Sibiri i vozmozhnosti ih prognoza [Global natural and climatic changes in the history of the Earth - historical monitoring of

- natural anomalies in Siberia and the possibility of their prediction] / K.G. Levi, S.A. Jazev, N.V. Zodonina // *Sovremennaja geodinamika i opasnye prirodnye processy v Central'noj Azii* [Modern geodynamics and hazardous natural processes in Central Asia]. – Irkutsk: IZK Press, 2004. – P. 23-46. [in Russian]
15. Loshhenko K.A. Regional'nye osobennosti sinopticheskikh processov na territorii Irkutskoj oblasti v 2000-2013 gg. [Regional features of synoptic processes in the Irkutsk region in 2000-2013] / K.A. Loshhenko, I.V. Latysheva // *Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Nauki o Zemle* [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Earth sciences]. – 2015. – V. 11. – P. 38-54. [in Russian]
16. Mel'nikov Yu.I. Ciklicheskie izmenenija klimata i dinamika arealov ptic na juge Vo-stochnoj Sibiri [Cyclic climate changes and dynamics of bird ranges in the south of Eastern Siberia] / Yu.I. Mel'nikov // *Ornitogeografija Palearktiki: Sovremennye problemy i perspektivy* [Ornithogeography of the Palaearctic: Modern Problems and Prospects]. – Mahachkala: DGPU Publ, 2009. – P. 47-69. [in Russian]
17. Mel'nikov Yu.I. Ocherk zimnego naselenija ptic pravoberezh'ja istoka Angara river (Juzhnyj Bajkal) [Sketch of the winter population of birds on the right bank of the source of the Angara river (South Baikal)] / Yu.I. Mel'nikov // *Bajkal. zool. zhurn.* [Baikal. zool. Journ.], 2012. – № 2(10). – P. 43-65. [in Russian]
18. Mel'nikov Yu.I. Izmenenija v zimnem naselenii ptic Vostochnoj Sibiri vo vtoroj polovine XX – nachale XXI stoletijah [Changes in the winter population of birds in Eastern Siberia in the second half of the XX - early XXI centuries] / Yu.I. Mel'nikov // *Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Biologija. Jekologija* [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Biology. Ecology]. – 2013. – V. 6, № 2. – P. 79-83. [in Russian]
19. Mel'nikov Yu.I. O klassifikacii naselenija ptic v zimnij period [On the classification of the bird population in winter] / Yu.I. Mel'nikov // *Bajkal. zool. zhurn.* [Baikal. zool. Journ.], 2014. – № 2(15). – P. 7-14. [in Russian]
20. Mel'nikov Yu.I. Sovremennaja fauna ptic kotloviny ozera Bajkal i osobennosti ee formirovanija [Modern bird fauna in the Lake Baikal basin and features of its formation] / Yu.I. Mel'nikov // *Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Biologija. Jekologija* [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Biology. Ecology]. – 2016. – V. 16. – P. 62-83. [in Russian]
21. Mel'nikov Yu.I. Mnogoletnjaja dinamika struktury i plotnosti naselenija ptic srednegorij Primorskogo hrebta (Juzhnyj Bajkal) v zimnij period (2010-2016 gg.) [Long-term dynamics of the structure and density of bird population in the middle mountains of the Primorsky Ridge (South Baikal) in the winter period (2010-2016)] / Yu.I. Mel'nikov // *Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Biologija. Jekologija* [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Biology. Ecology]. – 2017. – V. 19, № 2. – P. 63-77. [in Russian]
22. Mel'nikov Yu.I. Novye vidy ptic kotloviny ozera Bajkal: analiz vidovoj i jekologi-cheskoj struktury [New Bird Species in the Lake Baikal Basin: Analysis of Species and Ecological Structure] / Yu.I. Mel'nikov // *Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Biologija. Jekologija* [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Biology. Ecology]. – 2018. – V. 24. – P. 25-48. [in Russian]
23. Mel'nikov Yu.I. Osobennosti formirovanija zimnego naselenija ptic ozera Bajkal v uslovijah sovremennykh izmenenij klimata [Features of the formation of the winter bird population of Lake Baikal under the conditions of modern climate changes] / Yu.I. Mel'nikov, T.N. Gagina-Skalon // *Izv. Irkutsk. gos. un-ta. Ser. Biologija. Jekologija* [Bul. Irkutsk. State Un-ty. Ser. Biology. Ecology]. – 2013. – V. 6, № 3(1). – P. 46-54. [in Russian]
24. Mel'nikov Yu.I. Pticy ozera Bajkal (s konca XIX po nachalo XXI stoletija): vidovoj sostav, raspredelenie i harakter prebyvanija [Birds of Lake Baikal (from the end of the 19th to the beginning of the 21st centuries): species composition, distribution and nature of stay] / Yu.I. Mel'nikov, T.N. Gagina-Skalon // *Bjul. MOIP. Otd. biol.* [Bul. MOIP. Dept. biol.], 2016. – V. 121. – № 2. – P. 13-32. [in Russian]
25. Noskova E.V. Harakteristika uslovij uvlazhnennosti territorii besstochnyh ozer Torejskoj ravniny s ispol'zovaniem meteorologicheskikh dannyh [Characteristics of the moisture conditions of the territory of the closed lakes of the Torey Plain using meteorological data] / E.V. Noskova, I.L. Vahnina, K.A. Kurganovich // *Vestn. Zab.GU* [Bul. Zab.GU], 2019. – V. 25, № 3. – P. 22-30. [in Russian]
26. Objazov V.A. Izmenenie klimata i gidrologicheskogo rezhima rek i ozer v Daurskom jekoregione [Climate change and hydrological regime of rivers and lakes in the Daurian ecoregion] / V.A. Objazov // *Problemy adaptacii k izmeneniju klimata v bassejnah rek Daurii: jekologicheskie i vodohozjajstvennye aspekty* [Problems of Adaptation to Climate Change in Dauria River Basins: Environmental and Water Management Aspects]. – Chita: Ekspress-izd..Publ., 2012. – P. 24-45. [in Russian]
27. Pesenko Yu.A. Principy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovanijah [Principles and Methods of Quantitative Analysis in Faunal Research] / Yu.A. Pesenko. – Moscow: Nauka Publ., 1982. – 287 p. [in Russian]
28. Ravkin Yu.S. K metodike ucheta ptic v lesnyh landshaftah [To the method of counting birds in forest landscapes] / Yu.S. Ravkin // *Priroda ochagov kleshhevo go jencefalita na Altae* [The nature of foci of tick-borne encephalitis in Altai]. – Novosibirsk: Nauka Publ., 1967. – P. 66-75. [in Russian]
29. Ravkin Yu.S. K metodike ucheta ptic lesnyh landshaftov vo vnegnezdovoe vremja [To the method of counting birds in forest landscapes during out-of-nesting time] / Yu.S. Ravkin, B.P. Dobrohotov // *Organizacija i metody ucheta ptic i vrednyh gryzunov* [Organization and methods of accounting for birds and harmful rodents]. – Moscow: AN SSSR Press., 1963. – P. 130-136. [in Russian]
30. Ravkin E.S. Metodicheskie rekomendacii po kompleksnomu marshrutnomu uchetu ptic. Reprint [Methodical recommendations for integrated route counting of birds. Reprint] / E.S. Ravkin, N.G. Chelincev. – Moscow: Goskompirody SSSR Press., 1990. – 33 p. [in Russian]
31. Rjabicev V.K. Pticy Sibiri. Spravochnik-opredelitel' v dvuh tomah [Birds of Siberia. Reference guide in two volumes] / V.K. Rjabicev. – Moscow-Ekaterinburg: "Kabinetnyj uchenyj Publ.", 2014. – V. 2. – 452 p. [in Russian]
32. Shimaraev M.N. Zonal'naja cirkuljacija atmosfery, klimat i gidrologicheskie processy na Bajkale (1968-2007) [Zonal circulation of the atmosphere, climate and hydrological processes on Lake Baikal (1968-2007)] / M.N. Shimaraev, L.N. Starygina // *Geografija i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 2010, № 3. – P. 62-68. [in Russian]
33. Mel'nikov Yu.I. The dynamics of the bird population of forest ecosystems in the context of modern climate changes // *Diversity of soils and biota of Northern and Central Asia: IY All Russian conf. with International participation (15-18 June 2021, Ulan-Ude, Russian)*. – Ulan-Ude: BSC SB RAS Press, 2021. – P. 308-311. [in Russian]
34. Mel'nikov Yu. Large-scale modern climate change and reactions of steppe birds of Inner Asia // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021. – Vol. 817, 012066

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.016>**ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО СВИНОГО НАВОЗА С ЦЕЛЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ**

Научная статья

Никифорова Ю.Ю.^{1,*}, Мельник О.А.²^{1,2} Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (petuh_yulya[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассматривается один из способов обезвреживания бесподстилочного свиного навоза с целью возможного его использования в качестве экологичного органического удобрения. Опыт, заложенный на территории Кубанского ГАУ, показал положительное действие фосфогипса (отход производства минеральных удобрений) совместно с биопрепаратом «Тамир» (комплекс полезных микроорганизмов: дрожжи, молочнокислые, фотосинтезирующие, азотфиксирующие бактерии) и нитроаммофоской на качество бесподстилочного свиного навоза, что проявилось в улучшении таких показателей, как реакция среды, содержание общего азота. Кроме того, в опытном субстрате отмечается значительное улучшение санитарно-паразитологических показателей, а именно сокращение численности яиц гельминтов, что также способствует повышению его качества.

Ключевые слова: свиной навоз, обезвреживание, фосфогипс, свойства субстрата, органическое удобрение.

POSSIBILITIES OF NEUTRALIZATION OF LIQUID PIG MANURE FOR THE PURPOSE OF USING IT AS AN ORGANIC FERTILIZER

Research article

Nikiforenko Yu.Yu.¹, Melnik O.A.²^{1,2} Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (petuh_yulya[at]mail.ru)

Abstract

The article examines one of the ways of neutralization of liquid pig manure for the purpose of its possible use as an eco-friendly organic fertilizer. The experience in the Kuban State Agrarian University showed a positive effect of phosphogypsum (waste from the production of mineral fertilizers) together with the biological product "Tamir" (a complex of beneficial microorganisms: yeast, lactic acid, photosynthetic, nitrogen-fixing bacteria) and the ammonium nitrate phosphate fertilizer on the quality of liquid pig manure, which was manifested in the improvement of such indicators as the reaction of the medium, the content of total nitrogen. In addition, the experimental substrate shows a significant improvement in sanitary and parasitological indicators, namely, a reduction in the number of helminth eggs, which also contributes to improving its quality.

Keywords: pig manure, neutralization, phosphogypsum, substrate properties, organic fertilizer.

Введение

Использование современных методов содержания животных, приготовление концентрированных кормов, автоматизация кормления, а также другие многочисленные методы технологического, организационного и экономического характера привели к строительству комплексов промышленного типа по откорму свиней, крупного рогатого скота и птиц. Характерным для этих комплексов является скопление большого числа животных на малых площадях. При такой концентрации животных в комплексах постоянно производится большое количество экскрементов, которые смешиваются с подстилочным материалом и водой, использующейся для гидравлического смыва и удаления. При неправильном подходе к утилизации, хранению этих отходов в первую очередь загрязняются почвы, приводя в дальнейшем к загрязнению поверхностных и подземных вод [1, С. 180–181], [2, С. 31], [3, С. 14], [4, С. 624].

В то же время отходы животноводства представляют большую опасность в эпидемиологическом отношении. Микроорганизмы, содержащиеся в навозе, являются возбудителями инфекционных заболеваний. Поэтому, охрана окружающей среды и профилактика инфекционных заболеваний животных и людей требует разработки и внедрения эффективных технологий утилизации отходов животноводства [5, С. 47], [6, С. 43], [7, С. 10].

Проведенная работа является актуальной, поскольку защита окружающей среды требует, чтобы колоссальные объемы животноводческих отходов перерабатывались в достаточно короткие сроки экологически целесообразными методами, с применением передовых технологий, позволяющих получить высококачественные удобрения [8, С. 101].

Материалы и методы исследований

Исследования, направленные на обезвреживание бесподстилочного свиного навоза с целью использования его как экологичного органического удобрения, проводились на территории Кубанского ГАУ в осенне-зимний период. Для опыта был использован свежий бесподстилочный навоз, представляющий собой смесь кала с мочой свиней, содержащий небольшое количество растительных остатков и воды. Опыт был заложен в железных цистернах объемом 10 м³, вкопанных в землю на уровень ее поверхности. Сверху цистерны прикрывались крышками для исключения загрязнения субстрата, снижения его испаряемости и создания относительно анаэробных условий в емкости.

Опыт включал 2 варианта:

1) контроль (бесподстилочный свиной навоз);

2) опытный вариант (бесподстилочный свиной навоз + 1 т фосфогипса + 6 л биопрепарата «Тамир» + 50 кг нитроаммофоски).

Использованный в опыте биологически активный препарат «Тамир» (серии ЭМ) – это комплекс полезных почвенных микроорганизмов, активных при утилизации органических отходов, которые способствуют устранению неприятных запахов отходов, а также ускоренной их переработке. В состав биопрепарата входят дрожжи, патока, молочнокислые, фотосинтезирующие, азотфиксирующие бактерии, вода.

Отбор проб из каждого варианта производили в день закладки опыта в октябре и в последующем каждый месяц (ноябрь, декабрь) для определения следующих показателей: влажность; общий азот (на сухое вещество; на продукт с исходной влажностью); общий фосфор (на сухое вещество; на продукт с исходной влажностью); количественный состав микрофлоры; санитарно-паразитологические показатели; микроэлементный состав; токсичность. Исследования проводились согласно общепринятым методикам.

Результаты исследований

Для изучения свойств отходов животноводства и решения проблемы их скорейшего обезвреживания был использован свежий бесподстильный навоз, представляющий собой смесь кала с мочой животных, содержащий небольшое количество растительных остатков и воды.

Навоз был отобран из корпуса, в котором содержатся поросята возрастом 4 месяца и старше, из накопительной ямы объемом 20 м³, выложенной изнутри плиткой. Содержание поросят – групповое, в станках. Для кормления животных используется комбикорм, состоящий из ячменя (55 %), пшеницы (20 %), кукурузы (10 %), гороха (5 %), подсолнечного жмыха (10 %).

В результате проведения исследований по истечении месяца с момента закладки опыта было отмечено, что в контрольной емкости, содержащей только бесподстильный навоз, на поверхности субстрата образовалась довольно плотная корка. Сам навоз имел насыщенный зеленоватый цвет и характерный запах.

В опытной емкости, содержащей кроме навоза фосфогипс, нитроаммофоску и биопрепарат, корка на поверхности субстрата отсутствовала, а была заметна бактериальная пленка на поверхности жидкости, запах не такой резкий как в контроле. По истечении двух месяцев с момента заложения опыта в опытной емкости наблюдались активные процессы брожения, о чем свидетельствовало интенсивное газообразование.

При проведении исследований изучаемые субстраты были проанализированы на некоторые физические и химические показатели (см. таблицу 1). Анализ стоков выявил их щелочную реакцию – 7,4 ед. рН. По показателю рН возможно применение данных стоков, как для удобрения кислых почв, так и щелочных без ухудшения их состояния по данному показателю.

Таблица 1 – Физические и химические свойства субстратов

Показатель	На момент закладки опыта		Через 1 месяц		Через 2 месяца	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Влажность, %	97,2	97,6	96,1	97,5	98,2	97,7
Реакция среды, ед. рН	7,4	7,3	7,6	7,2	7,5	7,0
Общий азот, %	2,0	2,3	1,5	2,2	1,2	2,0
Общий фосфор, %	5,6	4,9	5,6	4,8	5,5	5,2

Реакция среды навоза контрольного варианта через месяц после закладки опыта повысилась на 0,2 ед. рН. В опытной же емкости отмечено понижение рН субстрата до 7,2 ед. рН, что связано с добавлением фосфогипса, реакция которого в солевом растворе составляет 5,9 ед. рН.

Содержание азота в сухом остатке навоза, отобранного из контрольной емкости, при закладке опыта составило 2,0 %. В субстрате с исходной влажностью (97,2 %) это количество соответствовало 0,06 %.

При проведении дальнейших исследований (через 1 месяц) выявлено уменьшение содержания общего азота в субстрате контрольной емкости до 1,5 % в сухом остатке. В субстрате опытного варианта содержание общего азота в сухом остатке оказалось выше, чем в контрольном и составило 2,2 %. На второй месяц проведения исследований в опытном варианте произошло незначительное снижение общего азота до 2,0 %, тогда как на контроле данный показатель составил 1,2 %.

Содержание общего фосфора в контрольном варианте при первоначальном отборе составило 5,6 %, эта концентрация соответствует 0,16 % в исследуемом продукте с исходной влажностью.

При последующем исследовании образцов, отобранных по истечении месяца с момента заложения опыта, обнаружено, что содержание общего фосфора в сухом остатке навоза контрольной емкости составило 5,6 % и не изменилось по сравнению с предыдущими исследованиями. Учитывая, что изменилось содержание влаги в исследуемом субстрате, пересчет на продукт с исходной влажностью выявил увеличение содержания общего фосфора во влажном (свежем) субстрате до 0,22 %.

Содержание общего фосфора в опытном варианте ниже и составило 4,8 % на сухой продукт. Причем одним из компонентов опыта являлся фосфогипс – минеральное вещество, обогащенное фосфором. Уменьшение содержания возможно связано как с расслоением стоков и выпадением фосфорсодержащих веществ в осадок, а также с интенсификацией микробиологических процессов и потреблением фосфора микроорганизмами в целях обеспечения их нормальной жизнедеятельности. Учитывая более высокую влажность опытного варианта, при пересчете на продукт с исходной влажностью отмечено содержание фосфора в количестве 0,12 %.

На момент закладки опыта в проанализированной пробе, отобранной из контрольной емкости, обнаружены яйца гельминтов общей численностью 32 шт./л. Численность яиц гельминтов в бесподстильном навозе опытной емкости составила 29 шт./л. По истечении одного месяца с момента закладки опыта численность яиц гельминтов в жидкой

фракции контроля осталась прежней, а в опытном варианте уменьшилась до 2 шт./л., что связано с осаждением яиц фосфогипсом в твердую фракцию.

Для оценки токсичности исследуемых субстратов применялись тест-организмы двух видов: ракообразные дафнии (*Daphnia magna* Straus) и протококковые водоросли (*Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.).

Пробы, отобранные в день заложения опыта, по степени токсического воздействия на гидробионты были отнесены к третьему классу опасности (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Воздействие сточных вод на тест-организмы

Вариант опыта	Тест-организмы						Класс опасности пробы
	<i>Daphnia magna</i>			<i>Scenedesmus quadricauda</i>			
	разведение, раз			разведение, раз			
	б/р	100	1000	б/р	100	1000	
На момент закладки опыта							
Контроль	+	–	–	+	+	–	3
Опыт	+	–	–	+	+	–	3
Через 1 месяц							
Контроль	+	–	–	+	+	–	3
Опыт	+	–	–	+	+	–	3
Через 2 месяца							
Контроль	+	–	–	+	+	–	3
Опыт	+	–	–	+	+	–	3

По истечении двух месяцев токсичность изучаемых субстратов, как в опыте, так и в контроле не снизилась, хотя в емкости, содержащей кроме бесподстилочного навоза фосфогипс, нитроаммофоску и биопрепарат, произошли процессы, которых не наблюдалось в контроле. Так в опытной емкости интенсивно протекали процессы брожения, сопровождающиеся обильным газообразованием, субстрат имел сероватую окраску и был более прозрачным по сравнению с контролем, цвет субстрата которого ярко болотный. В контрольной емкости на поверхности отмечалась достаточно плотная корка, а в опытной емкости ее нет, что объясняется осаждением взвесей фосфогипсом.

Хотя снижения токсичности субстрата по истечении двух месяцев с начала проведения исследований не наблюдалось, но изменения, произошедшие с субстратом, указывают на необходимость проведения дальнейших исследований и позволяют надеяться на снижение токсичности [9, С. 6], [10, С. 6–8].

Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. При добавлении в опытную емкость со свиным навозом фосфогипса наблюдается смена щелочной реакции среды на более нейтральную, что связано с кислой реакцией минерального отхода (5,9 ед. рН).
2. В процессе хранения навоза происходят потери азота, что связано как с микробиологическим потреблением, так и с выделением некоторых форм азота в виде газа.
3. Содержание фосфора за время проведения исследований значительно варьирует: его количество при добавлении фосфогипса сначала снижается, а затем снова увеличивается, что может быть связано с плохой растворимостью фосфогипса в воде. В процессе постепенного растворения фосфогипса, увеличивается и количество фосфора в растворе.
4. Внесение фосфогипса способствует осаждению яиц гельминтов и, следовательно, снижению их численности в жидкой фракции с последующим сосредоточением в осадке.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Гукалов В. Н. Перспективы использования отходов сельскохозяйственных и промышленных производств для повышения плодородия почвы / В. Н. Гукалов, О. А. Мельник // В сборнике: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. – 2010. – С. 179–184.
2. Мельник О. А. Основные принципы альтернативной системы земледелия при выращивании кукурузы / О. А. Мельник // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 29–33.
3. Никифорова Ю. Ю. Возможности использования свиного навоза в качестве органического удобрения / Ю. Ю. Никифорова // Сборник тезисов по материалам III Национальной конференции. – Краснодар, 2019. – С. 14–15.
4. Никифорова Ю. Ю. Проблемы и возможности использования свиного навоза в качестве удобрения / Ю. Ю. Никифорова // Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной Году науки и технологий. – Краснодар: КубГАУ, 2021. – С. 623–625.
5. Антоненко Д. А. Влияние сложного компоста на верхний слой чернозема обыкновенного и развитие сельскохозяйственных культур / Д. А. Антоненко, И. С. Белоченко, О. А. Мельник и др. // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 4. – С. 45–65.

6. Антоненко Д. А. Воздействие свиного навоза и компоста на его основе на свойства чернозема выщелоченного и продуктивность озимой пшеницы / Д. А. Антоненко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2017. – Т. 13. – № 1. – С. 40–46.

7. Антоненко Д. А. Использование сложных компостов на основе отходов в системе органического земледелия / Д. А. Антоненко, Ю. Ю. Никифорова, О. А. Мельник // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – № 11. – С. 7–11.

8. Алифиров М. Д. К вопросу о технологии переработки свиного навоза в перегной и его обогащении микроэлементами / М. Д. Алифиров, И. С. Белюченко, Т. В. Бозина и др. // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 3. – С. 99–104.

9. Антоненко Д. А. Оценка влияния отходов животноводства на окружающую среду методом биотестирования / Д. А. Антоненко, И. С. Белюченко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 4–9.

10. Антоненко Д. А. Оценка токсичности сложных компостов методом биотестирования / Д. А. Антоненко, Ю. Ю. Никифорова, О. А. Мельник // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2020. – № 8–2. – С. 5–9.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gukalov V. N. Perspektivy ispol'zovaniya otkhodov sel'skokhozhajstvennykh i promyshlennnykh proizvodstv dlja povysheniya plodorodija pochvy [Prospects for the use of agricultural and industrial waste to increase soil fertility] / V. N. Gukalov, O. A. Melnik // V sbornike: Problemy rekultivacii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozhajstvennogo proizvodstva [In the collection: Problems of recultivation of household waste, industrial and agricultural production]. - 2010. - pp. 179-184 [in Russian]

2. Melnik O. A. Osnovnye principy al'ternativnoj sistemy zemledelija pri vyrashhivanii kukuruzy [Basic principles of an alternative system of agriculture in the cultivation of corn] / O. A. Melnik // Ehkologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza [Ecological Bulletin of the North Caucasus]. - 2011. - Vol. 7. - No. 4. - pp. 29-33 [in Russian]

3. Nikiforenko Yu. Yu. Vozmozhnosti ispol'zovaniya svinogo navoza v kachestve organicheskogo udobrenija [The possibilities of using pig manure as an organic fertilizer] / Yu. Yu. Nikiforenko // Sbornik tezisov po materialam III Nacional'noj konferencii [Collection of abstracts based on the materials of the III National Conference]. - Krasnodar, 2019. - pp. 14-15 [in Russian]

4. Nikiforenko Yu. Yu. Problemy i vozmozhnosti ispol'zovaniya svinogo navoza v kachestve udobrenija [Problems and possibilities of using pig manure as a fertilizer] / Yu. Yu. Nikiforenko // Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchnoj ehkologicheskoy konferencii, posvjashhennoj Godu nauki i tekhnologii [Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific Environmental Conference dedicated to the Year of Science and Technology]. - Krasnodar: KubGAU, 2021. - pp. 623-625 [in Russian]

5. Antonenko D. A. Vlijanie slozhnogo komposta na verkhnij sloj chernozema obyknovennogo i razvitie sel'skokhozhajstvennykh kul'tur [The influence of complex compost on the upper layer of ordinary chernozem and the development of agricultural crops] / D. A. Antonenko, I. S. Belyuchenko, O. A. Melnik, et al. // Ehkologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza [Ecological Bulletin of the North Caucasus]. - 2014. - Vol. 10. - No. 4. - pp. 45-65 [in Russian]

6. Antonenko D. A. Vozdejstvie svinogo navoza i komposta na ego osnove na svoystva chernozema vyshchelochenogo i produktivnost' ozimoy pshenicy [The effect of manure and compost based on it on the properties of leached chernozem and the productivity of winter wheat] / D. A. Antonenko // Ehkologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza [Ecological Bulletin of the North Caucasus]. - 2017. - Vol. 13. - No. 1. - pp. 40-46 [in Russian]

7. Antonenko D. A. Ispol'zovanie slozhnykh kompostov na osnove otkhodov v sisteme organicheskogo zemledelija [The use of complex compost based on waste in the system of organic farming] / D. A. Antonenko, Yu. Yu. Nikiforenko, O. A. Melnik // Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences]. - 2019. - No. 11. - p. 7-11 [in Russian]

8. Alifirov M. D. K voprosu o tekhnologii pererabotki svinogo navoza v peregnoj i ego obogashhenii mikroelementami [On the issue of the technology of processing pig manure into humus and its enrichment with trace elements] // M. D. Alifirov, I. S. Belyuchenko, T. V. Bozin, et al. // Ehkologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza [Ecological Bulletin of the North Caucasus]. - 2007. - Vol. 3. - No. 3. - pp. 99-104 [in Russian]

9. Antonenko D. A. Ocenka vlijaniya otkhodov zhivotnovodstva na okruzhajushhuyu sredu metodom biotestirovaniya [Assessment of the impact of animal husbandry waste on the environment by the method of biotesting] / D. A. Antonenko, I. S. Belyuchenko // Ehkologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza [Ecological Bulletin of the North Caucasus]. - 2018. - Vol. 14. - No. 3 – pp. 4-9 [in Russian]

10. Antonenko D. A. Ocenka toksichnosti slozhnykh kompostov metodom biotestirovaniya [Assessment of the toxicity of complex compost by biotesting] / D. A. Antonenko, Yu. Yu. Nikiforenko, O. A. Melnik // Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences]. - 2020. - No. 8-2 – p. 5-9 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.017>**АДАПТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГЛАДКИХ МИОЦИТОВ МЫШЕЧНОГО ОТДЕЛА ЖЕЛУДКА УТОК ВОКРУГ ПОЛИМЕРНОГО ИМПЛАНТАТА**

Научная статья

Созыкин А.А.^{1,*}, Куличенко О.О.²^{1,2} Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России, Ростов-на-Дону, Россия

* Корреспондирующий автор (aleks_sozykin[at]mail.ru)

Аннотация

Целью экспериментального исследования было выявление адаптивных морфологических ультраструктурных особенностей в гладких миоцитах мышечной ткани мускульного отдела желудка, у птиц *domesticis anatis* после хирургически внедренного в него полимера – политетрафторэтилена.

У 25 самок годовалых уток, вокруг имплантата из тетрафторэтилена, на глубину в 1 мм, на 3, 5, 30, 90-е сутки эксперимента (по 5 особей на срок, и 5 особей в контрольной группе) исследовалась приспособительная ультраструктурная реорганизация органелл общего назначения и элементов сократительного аппарата в «прикапсульных» лейомиоцитах циркулярного слоя - аналога пилорического сфинктера желудка у млекопитающих и человека. Для оценки полученного биологического материала применялись методы: классической гистологии, прицельной просвечивающей электронной микроскопии, иммуногистохимии, морфометрии.

Полученные результаты убеждают, что клеточные посттравматические изменения, вблизи импланта из политетрафторэтилена, протекают в пределах асептического воспаления. Отмечена кооперация клеток лейкоцитарного ряда, тканевых базофилов, а также пролиферативная и синтетическая активность фибробластов. Установлено, что в гладких миоцитах около импланта, переживших травму и сохранивших межклеточные взаимодействия компартменты цитоплазмы, занятые сократительным аппаратом, замещаются элементами синтетического. К крайним срокам наблюдения - 90-е сутки, вблизи наружного слоя капсулы, окружающей имплант обнаруживался «сократительно-синтетический» фенотип лейомиоцитов, составивший, в среднем, 18-19% от всей гладкомышечной популяции циркулярного слоя мускульного отдела желудка.

Проведенное нами исследование позволяет утверждать, что имплантированный в мускульный отдел желудка птиц полимер, в 100% случаях, изолируется волокнистым коллагеновым каркасом. Адаптивные морфологические перестройки в лейомиоцитах вокруг соединительнотканной капсулы наблюдаются на протяжении всего срока эксперимента, а ультраструктура 18-19% из них претерпевает фенотипическую трансформацию, закрепляющуюся, возможно, на весь оставшийся срок жизни особей.

Ключевые слова: полимер, сфинктер, регенерация, гладкие миоциты.

ADAPTIVE CAPABILITIES OF SMOOTH MYOCYTES OF THE DUCK GIZZARD AROUND THE POLYMER IMPLANT

Research article

Sozykin A.A.^{1,*}, Kulichenko O.O.²^{1,2} Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author (aleks_sozykin[at]mail.ru)

Abstract

The aim of the experimental study was to identify adaptive morphological ultrastructural features in smooth muscle myocytes of the gizzard in *domesticis anatis* after surgically implanted polymer - polytetrafluoroethylene.

Adaptive ultrastructural reorganization of general-purpose organelles and elements of the contractile apparatus in the "capsule" leiomyocytes of the circular layer - an analogue of the pyloric stomach sphincter in mammals and humans - was studied in 25 female one-year-old ducks, around a tetrafluoroethylene implant, to a depth of 1 mm, on the 3rd, 5th, 30th, 90th day of the experiment (5 for a period, and 5 for the control group). To evaluate the obtained biological material, the following methods were used: classical histology, targeted transmission electron microscopy, immunohistochemistry, morphometry.

The results obtained prove that cellular post-traumatic changes near the polytetrafluoroethylene implant occur within the limits of aseptic inflammation. The cooperation of leukocyte cells, tissue basophils, as well as proliferative and synthetic activity of fibroblasts was noted. The study establishes that in smooth myocytes near the implant that survived trauma and retained intercellular interactions, cytoplasmic compartments occupied by the contractile apparatus are replaced by synthetic elements. By the final dates of observation: the 30th, 90th day, a "contractile-synthetic" phenotype of leiomyocytes was detected near the outer layer of the capsule surrounding the implant, which averaged 18-19% of the entire smooth muscle population of the circular layer of the gizzard.

The research suggests that the polymer implanted in the gizzard of birds, in 100% of cases, is isolated by a fibrous collagen framework. Adaptive morphological rearrangements in leiomyocytes around the connective tissue capsule are observed throughout the entire duration of the experiment, and the ultrastructure of 18-19% of them undergoes a phenotypic transformation, which is fixed, possibly, for the rest of the life of birds.

Keywords: polymer, sphincter, regeneration, smooth myocytes.

Введение

Полимеры различных видов, еще с середины прошлого века, достаточно широко применяется почти во всех отраслях деятельности человека, в том числе и медицине [1], [2], [3]. За последние десятилетие совместными усилиями биоинженеров и биофизиков, биохимиков и врачей различных специальностей создано большое разнообразие как искусственных, так и биополимерных материалов, успешно применяемых в реконструктивной хирургии,

травматологии, стоматологии, и др. Структура полимерных материалов постоянно совершенствуются, приближаясь к требованиям, позволяющим им оптимально соответствовать характерным свойствам тканей для коррекции или замены органов человеческого организма. Одно из ряда базовых требований, применяемых к полимерам, это длительное сохранение основных физико-механических свойств при разрушительном действии токсичных и ферментативных систем живого организма. Однако, исследования структуры тканей, окружающей имплант, приспособительные реакции в ответ на внедрение полимеров различных классов в эксперименте проводятся зачастую недостаточно объективно и не комплексно. Актуальность нашего экспериментального исследования обусловлена поиском и применением материалов, являющихся, по сути, искусственно созданными, но «биосовместимыми» с тканями организма птиц и млекопитающих [4], [5], [6]. Однако, реактивность гладкой мышечной ткани, в ответ на внедрение и длительное внутритканевое присутствие в ней полимеров, изучена недостаточно.

Целью проведенного экспериментального исследования было выявление и анализ адаптивных морфологических ультраструктурных особенностей в гладких миоцитах мышечной ткани мускульного отдела желудка, у птиц *domesticis anatis* после хирургически внедренного в него полимера – политетрафторэтилена.

Материал и методы исследования

Политетрафторэтилен – фрагмент протеза сосуда MAXIFLOTM, изготовленного компанией Vascutek., размерами 1х0,41мм. хирургически имплантировался в циркулярный слой гладкой мышечной ткани мускульного отдела желудка 20 домашним уткам (10 особям женского пола; 10 особям мужского пола) возрастом 1 год. Для этого, под наркозом препаратом «Рометар» 0,01мл., каждой из птиц экспериментальной группы в стерильных условиях, после подготовки операционного поля, малым глазным скальпелем поочередно рассекались: кожа, мышцы передней брюшной стенки и, через лапароскопический доступ 1,5 см., задняя часть желудка выводилась наружу. Затем, на границе анатомического заднего отдела «мускульного желудка» и тонкого кишечника, под увеличением в 40 раз, наружная часть мышечной оболочки рассекалась на длину 1 см. глубиной 3мм. и имплант погружался в область разреза на его «дно». Рана на желудке, также как и мышечный, и кожные слои ушивалась викрилом послойно наглухо. Материал забирался на 3,5,30,90-е сутки у 4 птиц (2 самца; 2 самки) на каждый срок. Контролем служил тот же участок циркулярного слоя гладкомышечных клеток мускульной части желудка, забранный от 4-х интактных уток того же возраста и пола. На работу с животными получено разрешение локального этического комитета РостГМУ. В качестве наркоза и при выведении животных из опыта использовался препарат «Рометар» в эмпирически подобранной дозе 0,5 мл. Из эксперимента животные выводились соблюдением требований Европейской конвенции по защите позвоночных (Страсбург, 1986).

Для оценки различных структур в гладких миоцитах вокруг импланта использовались методы: классической световой микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии. Для световой микроскопии материал фиксировался в жидкости Карнуа. Серийные парафиновые срезы, толщиной 5-7мкм., окрашивались по общепринятой гистологической методике гематоксилином–эозином, и селективно, для выявления структур мышечной и соединительной тканей, по Малори. Микросъемку гистологических препаратов производили на микроскопе “Axiolab” с фотонасадкой фирмы «Carl Zeiss».

Материал для электронномикроскопического исследования фиксировали в 1% растворе тетраоксида осмия - OsO₄ (G. Palade, 1952) на фосфатном буфере при pH 7,2- 7,4 (G. Millonig 1961) с префиксацией в 2,5% растворе глутаральдегида. Отмывка материала проводилась раствором фосфатного буфера при температуре 0-4°C, обезвоживание – в спиртах восходящей концентрации и в абсолютном ацетоне с последующей заливкой в аралдит (А.М. Glauert. R.H. Glauert, 1958). Для прицельной микроскопии на микротоме УПТМ-3М изготавливались полутонкие срезы, которые окрашивались метиленовым синим и азуром-11 на 1%-ном растворе тетраборнокислого натрия при температуре +60°C в течение 5 минут. Ультратонкие срезы (500-700А), полученные на ультрамикротоме LKB-8800, контрастировали 2,5% раствором уранилацетата (Watson M. L. 1958), 0,3 % раствором цитрата свинца (Venable J.H., Goggeshall R., 1965) и просматривали в микроскопе JEM-100S. Методом внутриклеточной стереоморфометрии определялись относительные объемы, занимаемые в цитоплазме органеллами общего значения: митохондриями, эндоплазматическим ретикуломом, рибосомами (полисомами), а также элементами сократительного аппарата.

Иммуногистохимический метод применялся соответственно для выявления интенсивности пролиферации Ki-67 и гибели апоптозом P-53 клеточных элементов в области установки импланта на 5,30,90-е сутки эксперимента. Реакция проведена с помощью набора моноклональных антител и реактивов для визуализации фирмы SIGMA США.; материал заливался в парафиновые блоки. Индекс пролиферации и индекс апоптоза высчитывали по формуле $ИП = (n+/N) \times 100\%$; n+ количество ядер с положительной (окрашенной) экспрессией белка Ki-67; P-53. Статистический анализ результатов исследования осуществлялся с использованием программы STATISTICA-10. Вычислялась средняя арифметическая ошибка, а значимыми считались различия между средним показателями при $p \leq 0.05$.

Результаты и их обсуждение

На 3-5 сутки после эксперимента диапазон посттравматических изменений, непосредственно вокруг политетрафторэтилена, протекает в пределах асептического воспаления. Отмечены взаимодействия лейкоцитов, появление единичных лимфоцитов, тканевых базофилов, активация фибробластов. Вокруг импланта идет формирование богатой сосудами микроциркуляции грануляционной соединительной ткани, трансформирующейся затем в плотную волокнистую оформленную. Лейомиоциты, не утратившие интеграционные взаимодействия и не задетые хирургическим повреждением, имеют внутриклеточные признаки активации, связанные с восстановлением элементов сократительного аппарата: крупное ядро до $9,7 \pm 0,5\%$, расширенные цистерны ЭПС до $2,4 \pm 0,5\%$, больший объем, занимаемый митохондриями $3,8 \pm 0,7\%$ и меньший, чем в контроле, объем сократительных элементов - $61,4 \pm 0,9\%$.

С 30-х по 90-е сутки возле наружного слоя коллагеновых фибрилл сформировавшейся капсулы располагаются группы гладких миоцитов, интегрированных базальной мембраной, а в участках свободных от неё, межклеточными контактами десмосомального и щелевидного типов. Среди них $18-19 \pm 0,4\%$ имеют отличные от контрольных объёмы ядра $8,2 \pm 0,5\%$; внутриклеточные объёмы органелл общего: эндоплазматической сети $1,9 \pm 0,3$; митохондрий $2,9 \pm 0,3\%$; и специального назначения: сократительных структур (миофиламентов и плотных телец) $74 \pm 0,7\%$.

К 30-м суткам эксперимента политетрафторэтилен уже полностью окружен капсулой – «футляром» толщиной 0,1 мм., состоящим из неоформленной плотной волокнистой соединительной ткани, представленной пластинами плотно прилежащих друг к другу разноориентированных коллагеновых фибрилл. Кровеносные сосуды и нервные окончания в ней отсутствуют. В непосредственной близости от соединительнотканного футляра, окружающего имплантат, в основном обнаруживаются фиброциты и, реорганизованные в «сократительно-синтетический» фенотип [7], [8], группы контактирующих между собой лейомиоцитов. Рис.1,2.

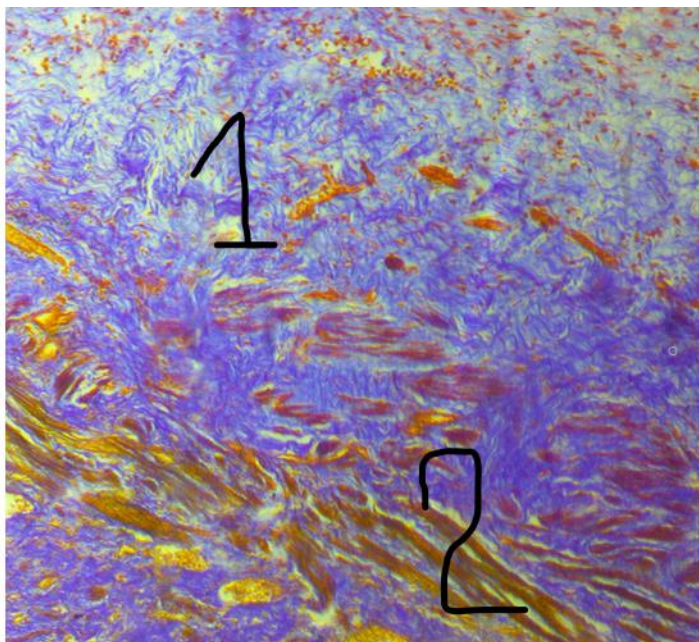


Рис. 1 – Мускульная часть желудка утки (аналог пилорического сфинктера млекопитающих) утки, 30-е сутки эксперимента:

1 – коллагеновые фибриллы капсулы; 2 – пучки жизнеспособных гладких миоцитов

Примечание: окраска по Малори об.40; ок.10.

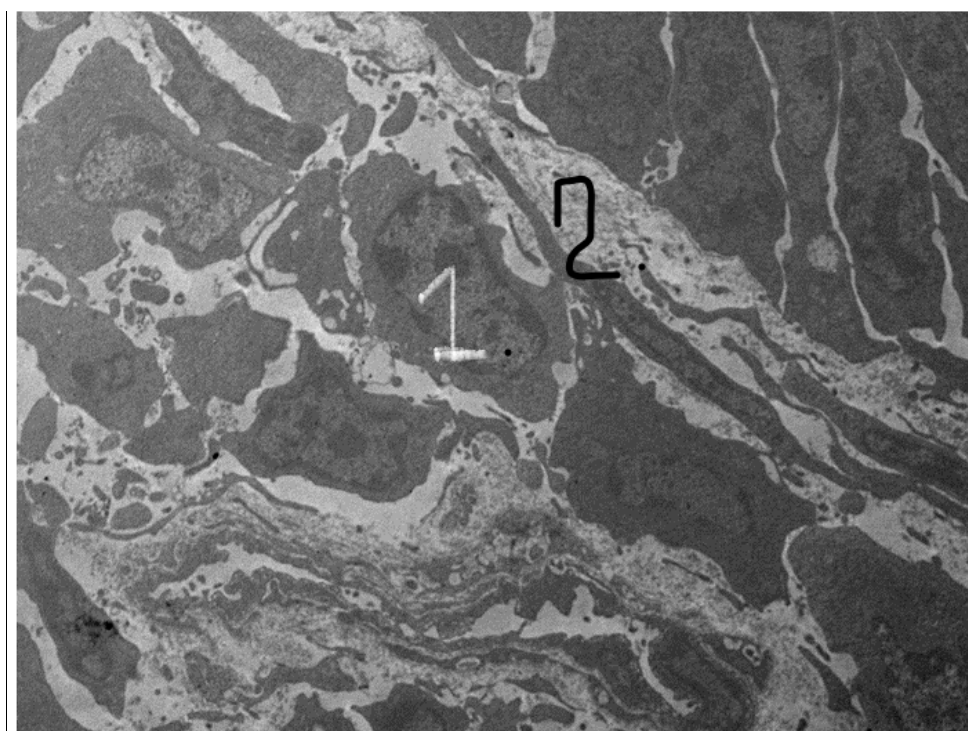


Рис. 2 – Мускульная часть желудка утки, 30-е сутки эксперимента:

1 – «прикапсульный» лейомиоцит; 2 – коллагеновые структуры капсулы вокруг имплантата из тетрафторэтилена

Примечание: электронная микрофотография ув. x7500

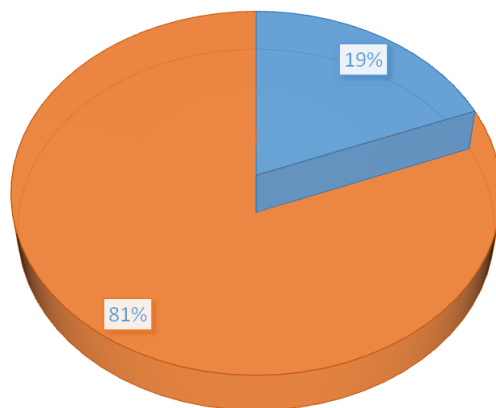


Рис. 3 – Процентное содержание миоцитов «сократительно-синтетического» фенотипа в мускульном отделе желудка уток на 90-е сутки эксперимента в области установки импланта из тетрафторэтилена:
оранжевый – процентное содержание лейомиоцитов «сократительного» фенотипа; *синий* – процентный состав лейомиоцитов «сократительно-синтетического» фенотипа

К 90-м суткам после «установки» импланта в близлежащих к капсуле гладких миоцитах до $19\% \pm 0,4$ их, имеют увеличенное ядерно-цитоплазматическое отношение $0,8-1,2 \pm 0,5$. В их цитоплазме, статистически достоверно, по сравнению с контролем, увеличены относительные объемы ядра до $7,1 \pm 0,4$; элементов гранулярной эндоплазматической сети до $1,2 \pm 0,3$; митохондрий до $3,1 \pm 0,3$. Объемы, занимаемые элементами сократительного аппарата, снижены до $76 \pm 0,4$. Рис. 3, 4, 5.

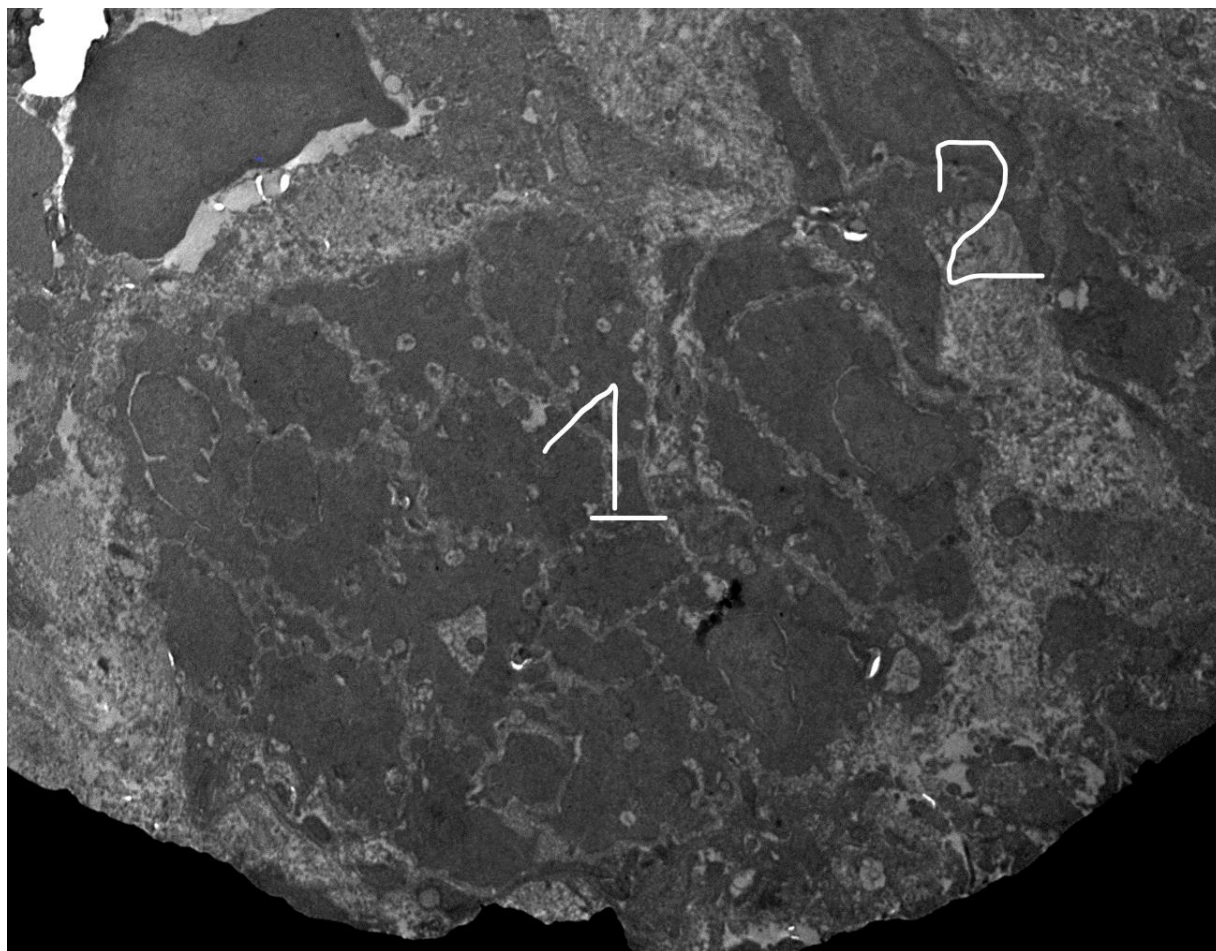


Рис. 4 – Мускульная часть желудка утки, 90-е сутки эксперимента:
 1 – тетрафторэтиленовый имплант; 2 – группы гладких миоцитов возле импланта
Примечание: электронная микрофотография ув. x6000

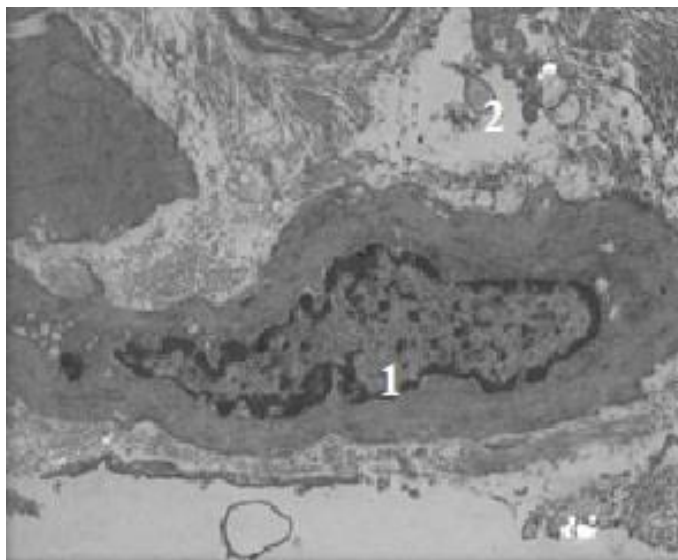


Рис. 5 – Задний, мускульный отдел желудка утки, 90-сутки эксперимента

1 – гладкий миоцит «сократительно-синтетического» фенотипа; 2 – структуры межклеточного вещества

Примечание: электронная микрофотография ув. x8000

Экспрессия ядерного антигена Ki-67 была интенсивно выражена на 3-и и 5-е сутки эксперимента. Апоптотический маркер Р-53 в прикапсульных клеточных элементах выявлялся незначительно лишь на 3,5-е сутки эксперимента.

Заключение

Таким образом, лейомиоциты гладкой мышечной ткани уток вокруг капсулы, окружающей политетрафторэтилен, имплантированный в циркулярный слой мускульного отдела желудка птиц (аналог пилорического сфинктера млекопитающих), к 90-м суткам эксперимента, судя по преобладающим элементам ультраструктуры, продолжают выполнять сократительную функциональную нагрузку. По нашему мнению, сохранение здесь $18-19 \pm 0.4\%$ лейомиоцитов «сократительно-синтетического» фенотипа обнаруженных также при регенерации и развитии гладкой мышечной ткани в дыхательной и выделительной системах в [9], [10], [11], позволяет предположить их участие, наряду с контрактильной функцией, еще и обновлении межклеточного вещества вокруг импланта.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Аронов, А. М. Биоконпозиты на основе сополимера тетрафторэтилена с винилиденфторидом, наполненного гидроксиапатитом, и возможность их применения в качестве покрытия для интрамедуллярных имплантатов / А. М. Аронов, Е. Н. Бельбасов, В. В. Гузев // Медицинские технологии. — 2010. — № 3. — С. 5-13.
2. Попков А. В. Биосовместимые имплантаты в травматологии и ортопедии / А. В. Попков // Гений ортопедии. — 2014. — № 3.
3. Борзенко С. А. Обоснование выбора биополимерных материалов для конструирования 3D-матрицы искусственной роговицы / С. А. Борзенко, А. А. Желтоножко, Ю. А. Комах // Вестник офтальмологии. — 2015. — № 131 (4). — С. 94-96.
4. Морфологическая характеристика реакций мягких тканей при имплантации титановых имплантов для краниопластики. Экспериментальное исследование / С. В. Мишинов, Н. А. Копорушко, П. М. Ларионов [и др.]. // Современные проблемы науки и образования. — 2020. — № 4.
5. Биодegradуемые импланты становление и развитие. Преимущества и недостатки / Л. А. Якимов, Л. Ю. Слияков, Д. С. Бобров [и др.]. // Кафедра травматологии. — 2017. — № 1 (21). — С. 44-49.
6. Филатов, И. Ю. Электроформование волокнистых материалов на основе полимерных микро- и нановолокон. История, теория, технология, применение / И. Ю. Филатов, Ю. Н. Филатов, М. С. Якушкин. // Вестник МИТХТ им. М. В. Ломоносова. — 2008. — № 3(5). — С. 3-5.
7. Середа Е. В. Современные методы восстановления и регенерации тканей скелетных мышц / Е. В. Середа, С. Е. Балицкий, Г. А. Юнси. // Международный студенческий вестник. — 2018. — № 6. — С. 44.
8. Зашихин, А. Л. Механизмы реактивной трансформации гладкой мускулатуры различных 23 висцеральных органов / А. Л. Зашихин, О. А. Бармина. — // Материалы X международного симпозиума. — Архангельск: Б.И., 2008. — С. 5-8.
9. Endothelialization of a non-woven silk fibroin net for use in tissue engineering: growth and gene regulation of human endothelial cells / R. E. Unger, K. Peters, M. Wolf et al. // Biomaterials. — 2004. — Vol. 25, № 21. — P. 5137-5146.
10. Мишинов С.В. Морфологическая характеристика реакций мягких тканей при имплантации титановых имплантов для краниопластики. Экспериментальное исследование / С.В. Мишинов, Н.А. Копорушко, П.М. Ларионов и др. // Современные проблемы науки и образования. — 2020. — № 4. — С. 109-109;
11. Ambrose C. G. Bioabsorbable implants: review of clinical experience in orthopedic surgery / C. G. Ambrose, T. O. Clanton // Annals of biomedical engineering. — 2004. — Vol. 32. — No. 1. — P. 171-177.

12. Eglin D. Degradable polymeric materials for osteosynthesis: tutorial / D. Eglin, M. Alini // *European Cells and Materials*. - 2008. Vol. 16. - P 80-91.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aronov, A. M. Biokompozity na osnove sopolimera tetrafluorjetilena s vinilidenftoridom, napolnennoho gidroksiapatitom, i vozmozhnost' ih primeneniya v kachestve pokrytiya dlja intramedulljarnyh implantatov [Biocomposites based on a copolymer of tetrafluoroethylene with vinylidene fluoride, filled with hydroxyapatite, and the possibility of their use as a coating for intramedullary implants] / A. M. Aronov, E. N. Bolbasov, V. V. Guzev // *Medicinskie tehnologii* [Medical technology]. - 2010. - No. 3. - P.5-13. [in Russian]
2. Popkov A. V. Biosovmestimye implantaty v travmatologii i ortopedii [Biocompatible implants in traumatology and orthopedics] / A. V. Popkov // *Genij ortopedii* [The genius of orthopedics]. - 2014. - No. 3. [in Russian]
3. Borzenok S. A. Obosnovanie vybora biopolimernyh materialov dlja konstruirovaniya 3D-matricy iskusstvennoj rogovicy [Rationale for the choice of biopolymer materials for designing a 3D-matrix of an artificial cornea] / S. A. Borzenok, A. A. Zheltonozhko, Yu. A. Komakh // *Vestnik oftal'mologii* [Bulletin of Ophthalmology]. - 2015. - No. 131 (4). - P.94-96. [in Russian]
4. Morfologicheskaja harakteristika reakcij m'jagkih tkanej pri implantacii titanovyh implantov dlja kranioplastiki. Jeksperimental'noe issledovanie [Morphological characteristics of soft tissue reactions during the implantation of titanium implants for cranioplastics. Experimental research] / S. V. Mishinov, N. A. Koporushko, P. M. Larionov et al. // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. - 2020. - No. 4. [in Russian]
5. Biodegradiruemye implanty stanovlenie i razvitie. Preimushhestva i nedostatki / [Biodegradable implants formation and development. Advantages and disadvantages] / L. A. Yakimov, L. Yu. Slinjakov, D. S. Bobrov et al. // *Kafedra travmatologii* [Department of Traumatology]. - 2017. - No. 1 (21). - P.44-49. [in Russian]
6. Filatov, I. Ju. Elektroformovanie voloknistyh materialov na osnove polimernyh mikro- i nanovolokon. Istorija, teorija, tehnologija, primenenie [Electroforming of fibrous materials based on polymer micro- and nanofibers. History, theory, technology, application] / I. Yu. Filatov, Yu. N. Filatov, M. S. Yakushkin // *Vestnik MITHT im. M. V. Lomonosova* [Bulletin of MITHT im. M.V. Lomonosov]. - 2008. - No. 3 (5). - P.3-5. [in Russian]
7. Sereda E. V. Sovremennye metody vosstanovleniya i regeneracii tkanej skeletnyh myshc [Modern methods of restoration and regeneration of skeletal muscle tissues] / E. V. Sereda, S. E. Balitsky, G. A. Yunsy. // *Mezhdunarodnyj studencheskij vestnik* [International student bulletin]. - 2018. - No. 6. - P.44. [in Russian]
8. Zashihin, A. L. Mehanizmy reaktivnoj transformacii gladkoj muskulatury razlichnyh 23 visceral'nyh organov [Mechanisms of reactive transformation of smooth muscles of various 23 visceral organs] / A. L. Zashihin, O. A. Barmina // *Materialy X mezhdunarodnogo simpoziuma* [Materials of the X International Symposium]. - Arkhangelsk: B.I., 2008. - P.5-8.
9. Endothelialization of a non-woven silk fibroin net for use in tissue engineering: growth and gene regulation of human endothelial cells / R. E. Unger, K. Peters, M. Wolf et al. // *Biomaterials*. - 2004. - Vol. 25, № 21. - P. 5137-5146.
10. Mishinov S.V. Morfologicheskaja harakteristika reakcij m'jagkih tkanej pri implantacii titanovyh implantov dlja kranioplastiki. Jeksperimental'noe issledovanie [Morphological characteristics of soft tissue reactions during implantation of titanium implants for cranioplasty. Experimental research] / S.V. Mishina, N.A. Koporushko, P.M. Larionov, et al. // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. - 2020. - No. 4. - pp. 109-109. [in Russian]
11. Ambrose C. G. Bioabsorbable implants: review of clinical experience in orthopedic surgery / C. G. Ambrose, T. O. Clanton // *Annals of biomedical engineering*. - 2004. - Vol. 32. - No. 1. - P. 171-177.
12. Eglin D. Degradable polymeric materials for osteosynthesis: tutorial / D. Eglin, M. Alini // *European Cells and Materials*. - 2008. Vol. 16. - P 80-91.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.018>**СРАВНЕНИЕ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА В ОЧИСТКЕ ПОЧВ И ГРУНТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ**

Научная статья

Тишин А.С.^{1,*}, Тишина Ю.Р.²^{1,2} Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

* Корреспондирующий автор (ast.6[at]yandex.ru)

Аннотация

Целью работы является исследование теоретических и практических методов очистки нефтезагрязненных земель в отечественной и зарубежной практике, оценка недостатков в области данных исследований и перспективных разработок в этом направлении.

На сегодня невозможно в полной мере найти альтернативу использованию традиционных источников энергии – нефти и нефтепродуктам. Вместе с тем, большие объемы добычи, транспортировки и использования нефти, нефтепродуктов становятся потенциальными загрязнителями элементов биосферы – атмосферы, гидросферы и литосферы (почв, поверхностных и подземных вод). Основными источниками таких загрязнений являются нефтеперерабатывающие предприятия, нефтехранилища, нефтепроводы и транспорт, а основными путями загрязнения – аварийные разливы нефтепродуктов во время их транспортировки к месту назначения и аварии на предприятиях.

Деструкция нефтепродуктов в стихийных (естественных) условиях будет длиться в многолетний период. При этом, элементы первоначального распада нефтепродуктов являются более сильными экотоксикантами, чем сама нефть. Так, например, в сточных водах нефтехимических предприятий показатели токсичности сохраняются на высоком уровне даже после полугодового отстаивания в специальных резервуарах, а в местах аварийных разливов нефти растительный покров на поврежденных почвах не прорастает в течение многих лет. Следовательно, реабилитация почв, загрязненных аварийными разливами нефтяных углеводородов требует принятия неотложных решений, что позволит оптимально осуществить процесс рекультивации природных объектов без потери их качеств.

В данной статье описаны технологии и методы очистки почвенного покрова от нефти и нефтяных загрязнений в современных условиях, применяемых в зарубежном и отечественном практическом опыте. Несомненно, эти технологии и методы не могут быть одинаково эффективны для разных территорий, поэтому на сегодняшний день актуальным вопросом является разработка эффективных современных препаратов и методик восстановления почв от ущерба разлива нефтепродуктов в различных регионах Российской Федерации.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, рекультивация, почва, микроорганизмы, биопрепараты.

A COMPARISON OF FOREIGN AND DOMESTIC EXPERIENCE IN CLEANING SOILS CONTAMINATED WITH PETROLEUM PRODUCTS

Research article

Tishin A.S.^{1,*}, Tishina Yu.R.²^{1,2} Postgraduate student, Surgut State University, Surgut, Russia

* Corresponding author (ast.6[at]yandex.ru)

Abstract

The purpose of the current article is to study the theoretical and practical methods of cleaning oil-contaminated soils in domestic and foreign practice as well as to assess the shortcomings and promising developments in this area.

Today, it is impossible to find a complete alternative to the use of traditional energy sources – oil and petroleum products. At the same time, large volumes of production, transportation and use of oil and petroleum products become potential pollutants of the elements of the biosphere – the atmosphere, hydrosphere and lithosphere (soils, surface and underground waters). The main sources of such pollution are oil refineries, oil storage facilities, oil pipelines and transport, while the main ways of pollution are accidental spills of petroleum products during their transportation to their destination and accidents at enterprises.

The destruction of petroleum products in natural conditions will last for many years. At the same time, the elements of the initial decomposition of petroleum products are stronger ecotoxicants than the oil itself. For example, in the wastewater of petrochemical enterprises, toxicity indicators remain at a high level even after six months of settling in special tanks, and in places of emergency oil spills, vegetation cover on damaged soils does not germinate for many years. Therefore, the rehabilitation of soils polluted by accidental spills of petroleum hydrocarbons requires urgent decisions, which will allow the optimal implementation of the process of recultivation of natural sites without losing their qualities.

This article describes the technologies and methods of cleaning the soil cover from oil and oil pollution in modern conditions, used in foreign and domestic practical experience. Undoubtedly, these technologies and methods cannot be equally effective for different territories, therefore the development of effective modern preparations and methods for restoring soils from the damage of oil spills in various regions of the Russian Federation is an urgent issue.

Keywords: oil pollution, reclamation, soil, microorganisms, biological products.

Введение

Горюче-смазочные материалы даже при тщательном их хранении и использовании, в значительных объемах, попадают в слои окружающей среды, нанося ей значительный экологический вред. Попадая в различные слои окружающей среды (воду, почву) нефть, как экологически опасное вещество, способно значительно повлиять на процессы, происходящие в этих слоях, нанося существенный ущерб. Так, когда нефть попадает в почвенный покров, ее элементы влияют на дыхательную жизнедеятельность микроорганизмов в почве, на активность почвенных микробов и

бактерий, подавляют процессы азотфиксации, нитрификации, разрушения целлюлозы, обуславливают накопление трудно окисляемых продуктов.

Самоочищение и самовосстановление почвенного покрова после попадания (загрязнения) нефти и нефтепродуктов проходит в стадийном процессе биогеохимической модификации загрязняющих веществ параллельно с процессом реабилитации (регенерации) биоценоза [1]. Продолжительность, эффективность самовосстановления зависит от того, насколько глубоко загрязнен почвенный покров, в каких климатических условиях расположены эти почвы и от типа почвенного покрова. Поэтому для современной цивилизации стали закономерными экологические катастрофы, связанные с наземными разливами нефтепродуктов. Такие загрязнения негативно влияют на почвенный покров, поверхностные и подземные воды. Обезвреживание влияния нефтепродуктов, особенно в почвах, имеет немалую актуальность.

Объекты исследования

Методы, технологии и способы очистки почв от загрязнений нефтью и нефтепродуктами в зарубежной и отечественной практике.

Материалы и методика исследований

В основе теоретических исследований лежат анализ и обобщение работ отечественных и зарубежных ученых. Произведен анализ научно-технической и специальной литературы в области очистки почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

Результаты исследований и их обсуждения

Современное сообщество на данный момент стоит перед проблемой масштабного загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами. Данная проблема настолько серьезная, что не приходится говорить о ее решении или полном исключении, сейчас вопрос стоит о том, чтобы не допустить роста уровня загрязнения и, хотя бы, оставить его на сегодняшних показателях. Однако, актуальность и необходимость борьбы с загрязнениями нефтепродуктами экосистем играет первостепенную задачу, так как влияние этих загрязнений несет колоссальный вред в сохранении различных частей окружающей среды.

Загрязнения нефтепродуктами возникает по двум причинам, и поэтому делятся на два типа. К первому типу относятся загрязнения, которые возникают по причине аварии при добыче нефти - разливы, и являются крупномасштабными, так как происходит авария внезапно, что требует нахождения и устранения причины аварии и является, поэтому длительным по времени. В результате таких аварий экосистема получает шоковый удар. Степень ущерба, при этом, зависит от масштаба и глубины проникновения нефти в слои экосистем, рода активных составных частей, глубины проникновения и состава почвы.

Ко второму типу загрязнения относятся не такие масштабные разливы, а небольшие выбросы, которые появляются при эксплуатации неисправного оборудования. Эти выбросы, хотя и могут быть небольшими, но они достаточно глубоко проникают в почву, нанося ей ущерб.

Ликвидацией масштабных аварий и разливов занимаются специализированные бригады, имеющие не только специально обученный персонал, но и необходимое оборудование, материалы и средства очистки. На данный момент в отечественной и зарубежной практике разработано и используются достаточно широкий ассортимент разнообразных средств по очистке и ликвидации последствий загрязнения нефтью и нефтепродуктами, биопрепаратов по рекультивации и очистке почв, загрязненных нефтепродуктами. Но, информация о новых препаратах и исследованиях в этой области ограничена, поступает к заинтересованным потребителям только виде рекламы.

Секретность разработки и используемых продуктов делает затруднительным сравнение их в технологии производства, использования и себестоимости, поэтому невозможно дать оценку их характеристикам и отразить степень конкурентоспособности продукта. В данной статье, все же, будет рассмотрена классификация технологий ликвидации нефтяных загрязнений почвы и даны краткие выводы по видам применяемых препаратов и технологий.

В таблице 1 приведены технологии, применяемые для ликвидации загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами на территории РФ, кратко описаны их характеристики и способы (механизмы) очистки почв с их помощью (табл. 1).

Таблица 1 – Технологии, применяемые для ликвидации загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами

Тип	Вид	Способ очистки
1. Механический	1. Срезка загрязненного слоя почвы. 2. Засыпка загрязненного участка 3. Изоляция полимерами загрязненного слоя и грунтовых вод 4. Захоронение загрязненного слоя в более глубокие слои (полигон)	1. Срезка и вывоз за пределы нахождения на специально обустроенные площадки и полигоны. 2. Загрязнитель изолируется на месте от попадания в иные слои (воду) специальными препаратами.
2. Термический	1. Сжигание без извлечения. 2. Извлечение и последующая обработка в специальных камерах.	1. Разложение под воздействием термообработки. 2. Вывоз грунта.
3. Физико-механический	3. Экстракция или продувка почвы. 2. Промывка специальными растворами. 3. Внесение химических препаратов	Сорбционные, химические или физико-химические методы.
4. Химический	Детоксикация химическими препаратами	Обработка химическими детоксикаторами

Окончание таблицы 1 – Технологии, применяемые для ликвидации загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами

Тип	Вид	Способ очистки
5. Биологический	Обработка воздействием микроорганизмов: а) внесение непосредственно на месте, б) срезка грунта и последующая обработка с помощью микроорганизмов на специальных площадках или установках.	Разложение загрязняющих веществ с помощью внесения микроорганизмов и их ферментационной активной деструкции
6. Агротехнический	Вспашка	Разложение в почве с помощью удобрений и мелиорантов
7. Агрохимический	Внесение удобрений	Аналогично предыдущему способу, но с добавлением органических удобрений или торфа, угля и т.п.
8. Комбинированный	Все вышеперечисленные технологии в различном взаимодействии	Все предусмотренные методы для вышеприведенных пунктов в различной степени взаимодействия

Стоит отметить, что в таблице не приведен такой вид очистки, как изъятие и последующая обработка грунта, так как данные технологии экспериментально подтвержденные, но находятся еще в стадии апробирования, либо являются довольно дорогостоящими, поэтому в практике реабилитационных работ на широком уровне еще не применяются. Также отметим, что данные технологии делятся на те, которые нацелены на переработку самих отходов, и те, которые применяются по восстановлению или очистке самого грунта (почвы).

Итак, рассмотрев технологии ликвидации загрязнения почв нефтепродуктами (табл. 1), выполним их обобщение. К современным технологиям по очистке загрязнений почв нефтепродуктами относятся следующие:

- удаление веществ нефтяных загрязнений с помощью растворителя или CO₂;
- обработка почвы электронагревом (витрификация);
- удаление ионов с помощью электрического тока (электромелиорация);
- химическое воздействие (окисление) на загрязнитель;
- обработка паром;
- термический распад;
- использование бактерий или грибов.

Обобщив представленные данные литературных данных, отметим, что в общем виде методики очистительных технологий почвенного покрова от загрязнений нефтепродуктами можно структурировать на физико-химические, биологические и механические методы [3]. Способ экстрагирования и обработки паром согласно последним исследованиям считается неэффективным и еще затратным. Этот метод требует извлечения почвенного покрова, что нарушает естественность биологического покрова и биоценоза, а накопление веществ нефти при попадании в почвенные потоки после первичного распада, попадая в грунтовые воды, наносят ущерб фауне. При складировании (на площадках и полигонах) остатков переработанных почв все же являются местом накопления продуктов вторичного загрязнения [5].

К эффективным средствам по ликвидации загрязнения почв нефтепродуктами исследователи на сегодняшний день относят препараты, в основе которых находятся различные сорбенты, сырьем для производства, которых могут быть отходы производства сельскохозяйственных и растительных культур, например, «Сорбест», «РС», «Лессорб» и др., а также торф, сапропели и пр. [6]. Однако для масштабных работ они также неэффективны, так как может потребоваться сбор и утилизация этих поверхностных активных веществ, которые сами становятся загрязнителями.

К сожалению, отметим, что на сегодняшний день решением проблемы загрязнения почв нефтепродуктами практически не занимаются. Исследования и работы по поиску эффективных средств по очистке экосистем от загрязнения нефтепродуктами на данный момент не выполняются на достаточном (высоком) технологическом и научном уровне, для них не предусмотрен в законодательстве координационный аппарат по их развитию. Поэтому, вопрос аварийных разливов нефти и своевременная ликвидация последствий этих аварий не территории различных регионах РФ является первостепенным и стоит на первом месте по своей актуальности, а поэтому, работа в этом направлении должна не только координироваться со стороны правительства, но и привлекать к поиску новых эффективных способов решения этой проблемы научных, производственных и всех заинтересованных организаций.

Если рассматривать зарубежный опыт борьбы с загрязнениями почв нефтью и нефтепродуктами, то принцип технологий схож с отечественными, однако в последнее время зарубежными исследователями проводятся многие экспериментальные работы по поиску эффективных технологий и средств очистки загрязненных почв, восстановления их продуктивности и минимизация ущерба экосистеме. Одной из применяемых методик в зарубежных странах является очищение извлеченных почв с помощью различных препаратов, как в небольших объемах на передвижных мобильных установках, так и в крупных масштабах на стационарных предприятиях, мощностью более 100т в час обрабатываемого сырья. Во Франции и США широкое применение получила технология термической обработки при высоких температурах почв и грунтов, которая является эффективной для очистки от летучих органических и неорганических соединений. В Германии запатентована технология обновления почв (или иных похожих материалов), которая осуществляется путем извлечения ее, измельчения и высушивания при высоких температурах в сушильных камерах и, в случае необходимости, после этого возвращается на прежнее место.

Распространена также технология экстракционно-влажной отмывки почв, когда загрязненную почву или наиболее загрязненную фракцию сначала перемешивают и промывают водой, либо водой со специальными реагентами, отмучивают и потом обогащают, улучшая ее продуктивность. Такая технология была наиболее известна в Нидерландах, США и имела название «soil washing» и сначала использовалась для очистки песчаных или гумусных почв. Этот термин используется для технологий, основанных на физической сепарации или химической экстракции либо на совмещении обоих процессов [4], [7], [8], [9], т.е. технологии восстановления (ремедиации). Этот процесс заключается в выемке слоя загрязненного грунта, механическая грануляция с целью удаления крупных материалов, дальнейшая сепарация по зернистости и последовательная обработка (промывка и обогащение) отдельных фракций.

Та же технология применяется и во Франции, которая была обоснована по технической и экономической ее целесообразности и осуществляется в условиях производства стационарного предприятия небольшой мощности (не более 40 т грунта в час), или на передвижной установке (20–30 т в час загрязненного грунта) [10]. Содержание представленной методики состоит в усиленной продувке воздухом материала, загрязненного и непригодного к использованию по назначению, во вращающемся барабане с сетчатыми стенками, и в дальнейшем обогащении полученных илстых частиц химическими или биологическими препаратами. В данной методике применяются традиционные фильтрационные и гравитационные технологии, а в воду, которую используют для промывки, добавляется активированный уголь (в виде порошка), глина, бентонит, активный ил, растворители и др. [11]. Эта же вода, подвергнутая дополнительной очистке, используется повторно для следующих очистительных циклов.

Современная наука также ищет методики и технологии очистки почв от радиоактивных загрязнений, и, хотя, цель данной статьи не предусматривает рассмотрение этих технологий, кратко отметим, что в США запатентован новый метод очистки загрязненных радиоактивными веществами почв, который представлен, как перспективный [12]. Автор приведенного исследования также приводит данные о том, что раньше радиоактивно загрязненные почвы по верхнему слою срезались (как наиболее загрязненного участка) и закапывались на специальных площадках, а также использовалась химическая промывка, целью которой стояло выщелачивание урана и трансурановых элементов.

Для очистки глинистых почв и суглинков используется метод электрокинетических процессов. При условии абсолютной или достаточной насыщенности загрязненного грунта водой его можно очистить от металлов, цианидов, хлорорганики, нефти и нефтепродуктов [13] путем электроосмоса и электрофореза. Данный способ хорош тем, что может быть, полностью контролируем в ходе чистки.

В последнее время ученые зарубежных стран все больше обращают внимание на технологии «биовосстановления», однако разработки в этом направлении, к сожалению, не очень стремительны и обширны из-за своей дороговизны [14]. Загрязненная почва помещается в специальный биореактор, обрабатывается с помощью паровой вытяжки и кислорода (воздуха), подаваемого по специальным трубопроводам, а также обработки питательными веществами и воздействием температур. Иногда биоматериалы и питательные вещества в данной технологии комбинируются с химическими препаратами и средствами обработки загрязненных почв.

К биовосстановительным технологиям также относится метод биовентиляции, используемый в США в широких масштабах. По горизонтально или вертикально установленным трубкам нагнетается в почвенный покров под необходимым давлением воздух, для обеспечения кислородом почвенных микроорганизмов, которые участвуют в процессе разложения органических веществ до CO_2 и воды. Струя воздуха значительно часть загрязнений выносит через основу, при этом загрязненные частицы уже успевают под действием микроорганизмов разложиться. Таким образом, выходящий газ уже проходит очистку и, поэтому, издержки на его последующую очистку уже уменьшаются под естественным процессом жизнедеятельности почвенных микробов.

Одним из перспективных и эффективных направлений в области биоразработок очистных технологий при мелиорации почв, при очистке их от загрязнений нефтепродуктами считаются агротехнологии с внесением минеральных удобрений и высевом трав мелиорантов [15]. Суть этой технологии заключается в посеве однолетних и многолетних трав с развитой корневой системой, имеющие повышенную устойчивость к воздействию нефтепродуктов и способных адаптироваться к росту в различных условиях. Этот метод материально не затратный, не требует особого оборудования или знаний и направлен на естественную биологическую окислительную активацию почвенных процессов. Однако, высев растений (биологическая рекультивация) выполняется после механического взрыхления почвы, т.е. проведения технической рекультивации почвенного покрова, с целью повышения ее продуктивной функции (восстановления) и для дальнейшего использования. Процесс биологического восстановления в данном случае протекает в двух направлениях.

Для первого направления используются технологии и методики вывода самого нефтепродукта из почвы, которые описаны выше. А во втором направлении целью стоит восстановление продуктивной характеристики почвы – возможности прорастания растительности. Выбор направления восстановления почвы зависит от технического состояния почвенного покрова на начальном этапе (степень загрязнения, условия залегания, эффективность первичной очистки и т.п.).

На эффективность применения современных биотехнологий в борьбе с загрязнениями почв нефтепродуктами обратили внимание исследователи Канады. Ими разработан способ очистки почвы, который дает возможность практически в естественных условиях восстановить продуктивность почв, при этом не требуются специальные технологии, умения и знания сотрудников, вложение крупных инвестиций и т.п. Суть этого метода заключается в следующем: загрязненный грунт предварительно делят на отдельные сектора для удобства их обработки. На глубину около 3 метров на грунт размещают перфорированные пластмассовые трубы змейкой. Сверху на эти трубы засыпается гравий, керамзит или любой другой материал с высокой дренажной способностью. На этот дренаж засыпается слой загрязненного грунта и слой удобрений. Эти слои чередуют до уровня земли. В качестве удобрений используют торф, навоз, торф, опил, трава и минеральные удобрения, также можно добавлять микробиологические вещества [16], [17], [18].

Оборудованные гряды сверху надо укрыть пленкой из полиэтилена, а через трубы подается компрессированный воздух необходимой мощности от генераторов, работающих на любом горючем или электричестве. Такая технология

является эффективной и зимой, если дополнительно гряды накрыть плотной пленкой, а в трубы подавать теплый воздух. Так как полиэтилен и сами трубы можно использовать многократно, то этот способ является и экономически выгодным.

Таким образом, для зарубежной практики по очистке загрязненных нефтепродуктами почв применяются технологии, выбор которых может зависеть от следующих факторов:

- обработка масштабного участка грунта путем извлечения его и переработки на стационарных предприятиях (промышленное производство) с последующим обогащением минеральными и химическими веществами (так называемая обработка *offsite*);

- обработка *in situ* (на месте), суть которой заключается в нагнетании в загрязненный слой почвы специальных химических препаратов или агентов с последующей утилизацией парогазообразных частиц, выделяющихся при этом процессе;

- обработка небольших извлеченных объемов грунта недалеко от места их нахождения с последующим обогащением и возвратом на прежнее место (обработка *ex-situ*);

- локализация вредных веществ в пределах отдельного участка путем проведения физико-химической стабилизации (использование цемента, шлаков, жидкого стекла и т. п.), с целью недопущения загрязнения грунтовых вод (разновидность обработки *in situ*) [19].

Таким образом, по оценкам специалистов, даже при тщательном хранении, транспортировке, использовании, соблюдая меры безопасности, потери нефтепродуктов достигают почти 2%. Попадая в окружающую среду, нефтепродукты загрязняют воздушную, водную, почвенную среду. Для сельскохозяйственного производства особую опасность представляет загрязнение почв. Они негативно влияют на рост и развитие растений, качество полученной продукции, а при значительных загрязнениях приводят к гибели посева. Окружающая среда испытывает негативную нагрузку и экологические проблемы, которые в значительной степени можно снизить, применяя различные препараты и технологии. На сегодняшний день эффективным средством борьбы с последствиями загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами можно считать комплексное применение механических и физико-химических технологий с обязательным последующим обогащением почв биологическими микроорганизмами и препаратами.

Заключение

По результатам анализа литературных данных относительно методов и средств очистки загрязненных нефтепродуктами природных сред, а именно почв, можно сделать вывод, что почти отсутствуют работы, особенно среди отечественных исследований, посвященные изучению сорбционной способности по отношению к нефтепродуктам материалов на основе растительного сырья, а именно отходов сельскохозяйственной деятельности (солома, половы), деревообрабатывающей промышленности (стружка, опилки) и коммунальных служб (листья деревьев), а, следовательно, не учитывается их вклад в процесс очистки почв от загрязнений.

Таким образом, поиск и изучение новых, более эффективных сорбентов для очистки почв от нефтепродуктов и ее производных интересно не только в научном аспекте для изучения физико-химических и структурно-сорбционных характеристик, но и в практическом плане для поиска новых, эффективных материалов для очистки объектов окружающей среды от загрязнений. Однако, природные микроорганизмы имеют низкую нефтеокислительную активность [20], поэтому перспективным возможным решением обозначенной проблемы может стать создание искусственно выращенных микроорганизмов, имеющих ряд специфических и необходимых характеристик, как, например, высокую нефтеокисляющую активность. При этом стратегически важным является ограниченный срок их жизнедеятельности для избегания биогенной катастрофы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кормак Д. Борьба с загрязнением моря нефтью и химическими веществами / Д. Кормак. - Москва: Наука, 2020. - 368 с.
2. Астафьева О. Е. Экологические основы природопользования: учебник для СПО / О. Е. Астафьева, А. А. Авраменко, А. В. Питрюк. - М.: Издательство Юрайт, 2017. - 354 с.
3. Боголюбов С. А. Правовые основы природопользования и охраны окружающей среды: учебник и практикум для академического бакалавриата / С. А. Боголюбов, Е. А. Позднякова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Юрайт, 2018. - 429 с.
4. Вартапетов Л. Г. Экологическая орнитология: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / Л. Г. Вартапетов. - М.: Издательство Юрайт, 2019. - 170 с.
5. Антонова Т.Л. Правовое регулирование обращения с отходами производства и потребления в России: состояние и перспективы / Антонова Т.Л. // Молодой ученый. – 2019. – №32. – С. 45-49.
6. Пономарев М.В. Правовое регулирование охраны окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления: дис. ... канд. юрид. наук / Пономарев М.В. – Москва, 2019.
7. Зубарев А. Е. Основные направления научных исследований в области экологического образования в России / Зубарев А. Е. // Вестн. Калуж. ун-та. – 2018. – № 2. – С. 73-77
8. Mardones C. Evaluation of a CO2 Tax in Chile: Emissions Reduction or Design Problems? / C. Mardones, B. Flores // Latin American Research Review. – 2017. – 52(3). – 334–343.
9. Потравный И.М. Анализ влияния проектов по добыче нефти и газа на окружающую среду: эколого-экономический аспект / И.М. Потравный, Ч.Ф.К. Йешиа // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., посв. 112-летию РЭУ им. Г.В. Плеханова / под ред. В.И. Ресина. – М., 2019. – С. 362-367.

10. Чемчо С. Н. Проблемы экологической безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса / С. Н. Чемчо, А. С. Барышева // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экол. безопасность. – 2016. – № 1. – С. 94-100.
11. Коршунова Т.Ю. Бактерии рода *Pseudomonas* для очистки окружающей среды от нефтяного загрязнения / Коршунова Т.Ю. и др. // - Экобиотех, 2020, Том 3, № 1, С. 18-32
12. Кормак Д. Борьба с загрязнением нефтью и химическими веществами / Д. Кормак. - Москва: Машиностроение, 2017. - 368 с.
13. Красноухова В. В. Диэлькометрия почв с разным содержанием гумуса и нефтяных загрязнений / Валентина Красноухова. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2020. - 124 с.
14. Чернецова Е. Дистанционный мониторинг нефтяных загрязнений в водной среде / Елена Чернецова. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2020. - 132 с.
15. Мешков Н. Радиоэкологические и медикобиологические последствия радиационного воздействия / Н. Мешков. - М.: Наука, 2020. - 529 с.
16. Олышанская Л. Технология получения сорбентов на основе металлической пыли и карбонизированных биополимеров для очистки поверхностных и сточных вод от нефти и нефтепродуктов / Олышанская Л., Чернова М., Арефьева О. и др. // Экология и промышленность России. 2020;24(3):24-28.
17. Camiato F.C. Renewable and sustainable energy efficiency : An analysis of Latin American countries / Camiato F.C. // Environmental Progress & Sustainable Energy. – 2018. – Vol. 37, N 6. – С. 26-27.
18. Malaquias R.F. Climate protection or corporate promotion? Energy companies, development, and sustainability reports in Latin America / R.F. Malaquias, M.B.J. Dermeval, F. Francielle et al // Energy Research & Social Science. – 2019. – Т. 54. – С. 150-156.
19. Долгих А. В. Нефтегазовый комплекс России: современное состояние и проблемы / А. В. Долгих // Научный альманах. – 2016. – № 3-1 (17). – С. 93-97.
20. Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии – 2018: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / [отв. ред. К. Ф. Янкив]. – Курск: ЮЗГУ, 2018. – 216 с.: ил., табл.
21. Новиков А.Н. Загрязнение Почвы Нефтью И Нефтепродуктами / Новиков А.Н. - Москва: Огни, 2019. - 603 с.
22. Байрамова А.Ф. Интенсификация флотационной очистки сточных вод / А. Ф. Байрамова. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. - 132 с.
23. Водоотведение объектов инфраструктуры нефтегазовых месторождений Западной Сибири: монография / Е. И. Вялкова [и др.]. – Тюмень: ТИУ, 2017. – 175 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kormak D. Bor'ba s zagrjaznieniem morja neft'ju i himicheskimi veshhestvami [Combating Marine Pollution With Oil and Chemicals] / D. Kormak // - Moscow: Nauka, 2020. - p. 368 [in Russian]
2. Astafeva O. E. Jekologicheskie osnovy prirodopol'zovanija: uchebnik dlja SPO [Ecological Foundations of Nature Management: Textbook for Vocational Secondary Education] / O. E. Astafeva, A. A. Avramenko, A. V. Pitruk // - M.: Publishing house Jurajt, 2017. - p. 354 [in Russian]
3. Bogoljubov S. A. Pravovye osnovy prirodopol'zovanija i ohrany okruzhajushhej sredy: uchebnik i praktikum dlja akademicheskogo bakalavriata [Legal Foundations of Nature Management and Environmental Protection: Textbook and Practical Course for Academic Bachelor's Degree] / S. A. Bogoljubov, E. A. Pozdnjakova // - 3rd Ed., Revised and Updated - M.: Publishing house Jurajt, 2018. - p. 429 [in Russian]
4. Vartapetov L. G. Jekologicheskaja ornitologija: ucheb. posobie dlja bakalavriata i magistratury [Ecological Ornithology: Studies. Handbook for Undergraduate and Graduate Studies] / L. G. Vartapetov // M.: Publishing house Jurajt, 2019. - p. 170 [in Russian]
5. Antonova T.L. Pravovoe regulirovanie obrashhenija s othodami proizvodstva i potreblenija v Rossii: sostojanie i perspektivy [Legal Regulation of Production and Consumption Waste Management in Russia: State and Prospects] / Antonova T.L. // Molodoj uchenyj [Young Scientist]. – 2019. – №32. – pp. 45-49. [in Russian]
6. Ponomarev M.V. Pravovoe regulirovanie ohrany okruzhajushhej sredy pri obrashhenii s othodami proizvodstva i potreblenija: dis. ... kand. jurid. nauk [Legal Regulation of Environmental Protection in the Management of Production and Consumption Waste: dissertation ... of candidate of legal sciences] / Ponomarev M.V. // – Moskva, 2019. [in Russian]
7. Zubarev A. E. Osnovnye napravlenija nauchnyh issledovanij v oblasti jekologicheskogo obrazovanija v Rossii [The Main Directions of Scientific Research in the Field of Environmental Education in Russia] // Vestn. Kaluzh. un-ta [Kaluga University Bulletin]. – 2018. – № 2. – pp. 73-77 [in Russian]
8. Mardones C. Evaluation of a CO2 Tax in Chile: Emissions Reduction or Design Problems? / C. Mardones, B. Flores // Latin American Research Review. – 2017. – 52(3). – pp. 334-343.
9. Potravnyj I.M. Analiz vlijanija proektov po dobyche nefti i gaza na okruzhajushhuyu sredy: jekologo-jekonomicheskij aspekt [Analysis of the Impact of Oil and Gas Production Projects on the Environment: Ecological and Economic Aspect] / I.M. Potravnyj, Ch.F.K. Jeshia // Sovremennye problemy upravlenija proektami v investicionno-stroitel'noj sfere i prirodopol'zovanii: materialy IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posv. 112-letiju RJeU im. G.V. Plehanova [Modern Problems of Project Management in the Investment and Construction Sector and Environmental Management: Materials of the IX International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 112th Anniversary of Plekhanov Russian University of Economics] / Edited by V.I. Resina // – M., 2019. – pp. 362-367. [in Russian]
10. Chemcho S. N. Problemy jekologicheskaj bezopasnosti na predpriyatijah neftegazovogo kompleksa [Problems of Environmental Safety at Oil and Gas Complex Enterprises] / S. N. Chemcho, A. S. Barysheva // Chrezvychajnye situacii: promyshlennaja i jekol. bezopasnost' [Emergency Situations: Industrial and Environmental Safety]. – 2016. – № 1. – pp. 94-100. [in Russian]

11. Korshunova T.Ju. et al. «Bakterii roda Pseudomonas dlja ochistki okruzhajushhej sredy ot neftjanogo zagrjaznenija» [“Pseudomonas Bacteria for Cleaning the Environment From Oil Pollution”] - Jekobiotech, 2020, Vol. 3, № 1, pp. 18-32 [in Russian]
12. Kormak D. Bor'ba s zagrjazneniem neft'ju i himichesкими veshhestvami [Combating Oil and Chemical Pollution] / D. Kormak // - Moskva: Mashinostroenie, 2017. - p. 368 [in Russian]
13. Krasnouhova V. V. Dijel'kometrija pochv s raznym sodержaniem gumusa i neftjanyh zagrjaznenij [Dielmetry of Soils With Different Humus Content and Oil Pollution] / V. V. Krasnouhova // - M.: LAP Lambert Academic Publishing, 2020. - p. 124 [in Russian]
14. Chernecova E. Distancionnyj monitoring neftjanyh zagrjaznenij v vodnoj srede [Remote Monitoring of Oil Pollution in the Aquatic Environment] / E. Chernecova // - M.: LAP Lambert Academic Publishing, 2020. - p. 132 [in Russian]
15. Meshkov N. Radiojekologicheskie i medikobiologicheskie posledstvija radiacionnogo vozdejstvija [Radioecological and Medicobiological Consequences of Radiation Exposure] / N. Meshkov // - M.: Nauka, 2020. - p. 529 [in Russian]
16. Ol'shanskaja L. Tehnologija poluchenija sorbentov na osnove metallicheskoj pyli i karbonizirovannyh biopolimerov dlja ochistki poverhnostnyh i stochnyh vod ot nefti i nefteproduktov. Jekologija i promyshlennost' Rossii. [Technology for Obtaining Sorbents Based on Metal Dust and Carbonized Biopolymers for Surface and Wastewater Treatment From Oil and Petroleum Products. Ecology and Industry of Russia.] / Ol'shanskaja L., Chernova M., Aref'eva O. et al. 2020;24(3):24-28. [in Russian]
17. Camiato F.C. Renewable and sustainable energy efficiency : An analysis of Latin American countries / Camiato F.C. // Environmental Progress & Sustainable Energy. - 2018. - Vol. 37, N 6 – - pp. 26-27.
18. Malaquias R.F. Climate protection or corporate promotion? Energy companies, development, and sustainability reports in Latin America / R.F. Malaquias, M.B.J. Dermeval, F. Francielle et al // Energy Research & Social Science. - 2019. - Vol. 54. - pp. 150-156.
19. Dolgih A. V. Neftegazovyj kompleks Rossii: sovremennoe sostojanie i problemy [Oil and Gas Complex of Russia: The Current State and Problems] / A. V. Dolgih // Nauchnyj al'manah [Scientific Almanac]. – 2016. – № 3-1 (17). – pp. 93-97. [in Russian]
20. Fundamental'nye i prikladnye issledovanija v oblasti himii i jekologii [Fundamental and Applied Research in the Field of Chemistry and Ecology] – 2018: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Materials of the International Scientific and Practical Conference] / Edited by K. F. Jankiv // – Kursk: JuZGU, 2018. – p. 216: il., tabl. [in Russian]
21. Novikov A.N. Zagrjaznenie Pochvy Neft'ju I Nefteproduktami [Soil Pollution by Oil and Petroleum Products] / A.N. Novikov // - Moscow: Ognj, 2019. - p. 603 [in Russian]
22. Bajramova A.F. Intensifikacija flotacionnoj ochistki stochnyh vod [Intensification of Flotation Wastewater Treatment] / A. F. Bajramova // - M.: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. - p. 132 [in Russian]
23. Vodootvedenie ob'ektov infrastruktury neftegazovyh mestorozhdenij Zapadnoj Sibiri: monografija [Drainage of Infrastructure Facilities of Oil and Gas Fields in Western Siberia: A Monograph] / E. I. Vjalkova et al. // – Tjumen': TIU, 2017. – p. 175 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.019>**ИММУНОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СТАФИЛОКОККОВОГО ЭНТЕРОТОКСИНА ТИПА В С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА**

Научная статья

Третьяков С.И.^{1,*}, Ярков С.П.²^{1,2} Государственный научно-исследовательский институт биологического приборостроения
Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (diasol[at]dol.ru)

Аннотация

Целью исследования явилось изучение возможности повышения чувствительности иммунохроматографического анализа (ИХА), используя для этого бифункциональные конъюгаты наночастиц коллоидного золота (НКЗ), способные связываться с антигенными эпитопами аналита и вступать в реакцию биотин-стрептавидин.

Экспериментально изучена возможность применения бифункциональных конъюгатов НКЗ в ИХА для выявления стафилококкового энтеротоксина типа В (СЭБ). Исследованы варианты повышения заметности аналитической зоны теста, а, следовательно, и чувствительности выявления аналита, за счет образования агрегатов конъюгатов НКЗ. Использовали бифункциональный конъюгат НКЗ и моноклональных биотинилированных антител (НКЗ-S222-биотин), а также дополнительные конъюгаты со стрептавидином (НКЗ-стрептавидин), и биотином (НКЗ-БСА-биотин). Конъюгаты НКЗ-S222-биотин, избирательно связываются с антигенными эпитопами СЭБ, образуя иммунные комплексы, а дополнительные конъюгаты, за счет взаимодействия биотин-стрептавидин, образуют агрегаты НКЗ большого размера, которые усиливают заметность аналитической зоны иммунохроматографического теста.

Вывод. Чувствительность выявления СЭБ при применении дополнительного конъюгата НКЗ со стрептавидином составила 2,5 нг/мл при приборной регистрации, и 12,5 нг/мл при визуальной, что в 2,0 и 1,3 раза выше по сравнению с обычным тестом, не использующим взаимодействие биотин-стрептавидин. Компоновка мембран с нанесенными реагентами и помещенными в стандартную оправу для иммунохроматографических тестов обеспечивает одностадийный анализ, длительностью 25 мин, без внесения дополнительных реагентов.

Ключевые слова: иммунохроматография, увеличение чувствительности, бифункциональные наночастицы коллоидного золота, стафилококковый энтеротоксин типа В.

LATERAL FLOW TEST FOR THE DETECTION OF STAPHYLOCOCCAL ENTEROTOXIN TYPE B USING BIFUNCTIONAL GOLD NANOPARTICLES

Research article

Tretyakov S.I.^{1,*}, Yarkov S.P.²^{1,2} State Research Institute of Biological Instrumentation of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

* Corresponding author (diasol[at]dol.ru)

Abstract

The aim of the study was to examine the possibility of increasing the sensitivity of the lateral flow test (LFT) using bifunctional conjugates of colloidal gold nanoparticles (CGN) capable of binding to antigenic epitopes of the analyte and undergo the biotin-streptavidin reaction.

The article examines the possibility of using bifunctional conjugates of bifunctional conjugates of colloidal gold nanoparticles in LFT for the detection of staphylococcal enterotoxin type B (SEB). The variants of increasing the visibility of the analytical zone of the test, and, consequently, the sensitivity of detecting the analyte, due to the formation of aggregates of CGN conjugates are investigated. The study uses a bifunctional conjugate of CGN and monoclonal biotinylated antibodies (CGN-S222-biotin), as well as additional conjugates with streptavidin (CGN-streptavidin), and biotin (CGN-BSA-biotin). CGN-S222-biotin conjugates selectively bind to SEB antigenic epitopes forming immune complexes, while the additional conjugates, due to the interaction of biotin-streptavidin, form large-sized CGN aggregates that enhance the visibility of the analytical zone of the lateral flow test.

Conclusion. The sensitivity of SEB detection when using an additional CGN conjugate with streptavidin was 2.5 ng/ml for instrument registration, and 12.5 ng/ml for visual registration, which is 2.0 and 1.3 times higher compared to the usual test that does not use the biotin-streptavidin interaction. The arrangement of membranes with reagents applied and placed in a standard frame for LFT provides a one-stage analysis, lasting 25 minutes, without adding additional reagents.

Keywords. Immunochromatography, sensitivity enhancement, bifunctional colloidal gold nanoparticles, staphylococcal enterotoxin type B.

Введение

Иммунохроматографический анализ является эффективным решением как для обнаружения веществ-маркеров для диагностики заболеваний, так и для выявления патогенных микроорганизмов и токсинов во внешней среде, поскольку позволяет получить результаты анализа за 15-25 мин и проходит в одну стадию. За счет простоты процедуры ИХА легко адаптируется для внелабораторных (полевых) анализов, позволяя проводить его лицам без специального медико-биологического образования.

Зачастую аналиты присутствуют в исследуемых пробах в концентрациях, выходящих за пределы чувствительности традиционного формата ИХА, что не позволяет их обнаружить. Это побуждает исследователей искать пути повышения чувствительности анализа, сохраняя его положительные свойства – малое время проведения и относительную простоту процедуры. Приемами увеличения чувствительности ИХА тестов являются: увеличение полезного сигнала за счет использования НКЗ большого размера (45 нм), применения аутометаллографии для увеличения размеров НКЗ за счет

осаждения атомов серебра или золота на сформировавшихся иммунных комплексах, либо увеличение количества окрашенных маркерных частиц в иммунных комплексах, формирующихся в аналитической зоне иммунохроматографического теста [1], [2], [3]. Почти всегда это требует дополнительных стадий при проведении анализа. Увеличение размера и количества маркерных частиц обычно увеличивает чувствительность теста [4], [5]. Использование в анализе конъюгатов НКЗ с биотинилированными иммуноглобулинами и стрептавидин-биотинового взаимодействия приводит к созданию пространственных структур (агрегатов НКЗ) большого размера, что также увеличивает чувствительность ИХА теста, как это было показано на примере ИХА для выявления прокальцитонина [6].

В работе [7] предложено использовать НКЗ, конъюгированные с биотин-мечеными специфическими иммуноглобулинами к белку прокальцитонину, а также два дополнительных конъюгата НКЗ, первый - с биотиновыми молекулами на поверхности частиц золя, второй - с молекулами стрептавида. Комбинация этих конъюгатов приводит к образованию агрегатов НКЗ и, следовательно, к усилению интенсивности окрашивания аналитической зоны теста. Дизайн теста позволяет располагать все конъюгаты в сухом виде на подложках, тем самым обеспечивая проведение анализа в одну стадию без внесения дополнительных реагентов и дополнительных манипуляций. Показано 30-кратное повышение чувствительности выявления прокальцитонина при фотометрической детекции и 10-кратное увеличение при визуальной, по сравнению с традиционным форматом иммунохроматографических тестов на прокальцитонин. Авторами было высказано предположение, что подобный подход является универсальным и позволит увеличить чувствительность иммунохроматографических тестов для других аналитов.

Представило интерес проверить универсальность подхода, предложенного в работе [7], на других аналитах, в частности при выявлении белкового токсина - стафилококкового энтеротоксина типа В, являющегося маркером при диагностике пищевых отравлений.

Материалы и принципы исследования

При проведении экспериментов использовали нитроцеллюлозные мембраны CNPE-SN12 (MDI, Индия) с эффективным диаметром пор 10 мкм. Применяли моноклональные антитела S643 и S222 к СЭБ производства АО «ВНЦМДЛ» (Россия), поликлональные антитела (ПКА) козы против иммуноглобулинов мыши получали от ООО «Имтек» (Россия). Препарат СЭБ был получен из ГНЦ ПМиБ Роспотребнадзора.

На мембрану CNPE-SN12 в аналитическую зону наносили МКА S643 против СЭБ в концентрации 3,3 мг/мл с нагрузкой 0,08 мкл/мм, в контрольную зону мембраны наносили поликлональные ПКА козы против иммуноглобулинов мыши, в концентрации 2,0 мг/мл с нагрузкой на мембрану 0,08 мкл/мм.

Для синтеза всех конъюгатов НКЗ с белками использовали золь золота, полученный цитратным восстановлением золотохлористоводородной кислоты [8], [9]. Длина волны в максимуме спектра поглощения препарата золя $\lambda=519$ нм.

Биотинилирование МКА S222. Для биотинилирования МКА S222 производили замену буфера хранения антител на 1 М карбонат-бикарбонатный буфер (КББ) pH 9,6 с помощью концентратора Vivaspin, (Sartorius VS0101 кат № Z614025-25EA). Условия центрифугирования - $\times 10\ 000g$. Проводили 3 сеанса центрифугирования по 10 мин, каждый раз добавляя 400-500 мкл свежего КББ. В реакцию брали 1 мл МКА S222 в концентрации 1 мг/мл в 1М КББ pH 9,6. В качестве биотинилирующего агента использовали 3 мг/мл раствор в ДМСО биотинамидогексановой кислоты N-гидроксисукцинимидного эфира (Sigma-Aldrich, кат. № B2643). Реакцию биотинилирования проводили при постоянном перемешивании, внося 66 мкл раствора биотинилирующего агента в ДМСО к 1 мл раствора антител в КББ. Внесение раствора биотинилирующего агента осуществляли порциями по 5 мкл, с интервалами 20-30 с. Реакционную смесь оставляли при комнатной температуре и перемешивании на 4 ч. Затем заменяли КББ в реакционной смеси на 0,05М ФБ pH 7,2 при помощи концентратора Vivaspin, центрифугируя при $\times 10\ 000g$ 3 раза по 10 мин, каждый раз добавляя 400-500 мкл свежего 0,05М фосфатного буфера) ФБ pH 7,2.

Биотинилирование БСА. Реакцию биотинилирования БСА проводили аналогично биотинилированию МКА S222. Навеску 10 мг БСА (Sigma-Aldrich, кат. № A3059) растворяли в КББ pH 9,6, затем разбавляли до концентрации 1,0 мг/мл. Далее процесс биотинилирования проводили, как описано выше.

Получение конъюгатов. Все конъюгаты НКЗ с белками получали согласно рекомендациям Hermanson [10]. При получении конъюгата с МКА S222, (НКЗ-S222) нагрузка по антителам, определенная из кривой флокуляции золя, составила 15 мкг/мл золя, OD= 1,5 е.о.п. Далее конъюгат наносили на конъюгатную подложку из расчета 60 мкл/см.

Конъюгат НКЗ с биотинилированными антителами МКА S222 (НКЗ-S222-биотин) получали аналогично конъюгату НКЗ с нативными МКА S222.

Конъюгат НКЗ со стрептавидином получали с нагрузкой 10 мкг стрептавида на 1 мл золя золота. Использовали рекомбинантный стрептавидин (ООО «Имтек», Россия, кат. № E. Avs).

Получение конъюгата НКЗ с биотином. Поскольку биотин, как низкомолекулярное вещество, не может быть конъюгирован с НКЗ напрямую, вначале биотинилировали БСА как описано выше, а затем получали конъюгат (НКЗ-БСА-биотин) аналогично получению конъюгатов НКЗ-S222 и НКЗ-S222-биотин. Нагрузка белка на золь составила 6,0 мкг/мл.

Получение мультимембранного композита и проведение анализа. На рисунке 1 приведена схема мультимембранного композита для выявления СЭБ методом ИХА. Собранный мультимембранный композит помещали в стандартную пластиковую оправу (MDI, Индия) с отверстиями для наблюдения результата и внесения анализируемого образца.

Анализ проводили при комнатной температуре. Объем анализируемого раствора СЭБ в буфере анализа составлял 140 мкл. В качестве буфера анализа использовали 0,1 ФБ pH 7,8, содержащий 0,25% БСА и 0,4% Твин-20. Регистрировали результаты спустя 25 мин. Связывание метки в аналитической зоне теста регистрировали визуально и с помощью видеоцифрового анализатора иммунохроматограмм Рефлеком (Россия, Синтэко-комплекс). Минимальная концентрация аналита, при которой было заметно глазом окрашивание полосы в аналитической зоне, принималась за чувствительность теста при визуальной регистрации, что соответствовало 0,6 усл. ед. показаний анализатора

иммунохроматограмм. Для построения зависимостей сигнала прибора от концентрации аналита брали среднее из пяти измерений. За чувствительность теста при приборной регистрации принимали концентрацию аналита, при которой интенсивность окрашивания аналитической зоны в три раза превышала стандартное отклонение для величины «холостого» опыта в отсутствие аналита.

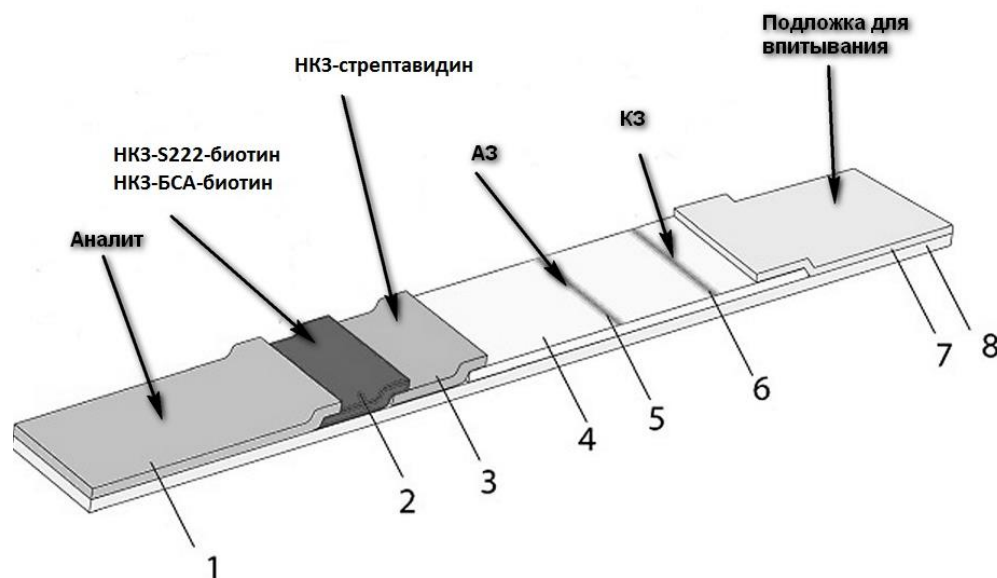


Рис. 1 – Схема тест-полоски для выявления СЭБ:

- 1 – подложка для нанесения (впитывания) образца; 2 – стекловолоконная подложка для нанесения конъюгатов НКЗ с иммунокомпонентами; 3 – стекловолоконная подложка для нанесения конъюгатов НКЗ-стрептавидина; 4 – нитроцеллюлозная аналитическая мембрана; 5 – аналитическая зона теста с нанесенными МКА S643; 6 – контрольная зона теста с козымими антителами против антител мыши; 7 – впитывающая подложка; 8 – полимерная подложка, обеспечивающая жесткость сборки

Основные результаты

Взаимную проверку реакционной способности конъюгата НКЗ со стрептавидином и МКА S222-биотин осуществляли, пропуская раствор конъюгата по аналитической мембране, на которую предварительно наносили точки, объемом 0,5 мкл биотинилированных МКА S222-biotin в концентрации 1,5 мг/мл. Мембрану сушили 12 ч при комнатной температуре. Затем на мембрану апплицировали подложку с конъюгатом НКЗ-стрептавидин и OD=1,0 е.о.п. Сборку мембран в вертикальном положении помещали в лунку планшета для иммуноферментного анализа, содержащего 200 мкл буфера анализа (БА). По мере продвижения фронта жидкости на мембране наблюдалось яркое окрашивание нанесенных точек антител за счет образования комплекса НКЗ-стрептавидин и биотинилированных антител. Аналогично контролировали эффективность биотинилирования БСА, при получении комплекса БСА-биотин. При этом на мембрану наносили точку, объемом 0,5 мкл раствора стрептавидина в концентрации 1,0 мг/мл.

Сохранение иммунохимических свойств МКА S222-биотин по связыванию с СЭБ, доказывали, получив конъюгат НКЗ-S222-биотин (OD=2,0 е.о.п.) и небиотинилированные конъюгаты НКЗ-S222 (OD=1,5 е.о.п.) с одинаковой нагрузкой - 15 мкг/мл золя. Конъюгаты наносили и высушивали на стекловолоконных подложках и затем собирали мультимембранный композит. В обоих случаях при анализе раствора с концентрацией 30 нг/мл СЭБ интенсивность окрашивания полосы в аналитической зоне составляла 0,7 и 1,1 усл. ед., через 25 мин с начала анализа.

Рассматривались три варианта построения иммунохроматографической тест-системы:

Вариант I. Обычный тест на СЭБ в «сэндвич» формате, свойства которого описаны нами ранее в работе [3];

Вариант II. Тест с НКЗ-стрептавидин, в котором на мембрану 2 теста (рисунок 1) наносили конъюгаты НКЗ-S222-биотин, а на мембрану 3 конъюгат НКЗ-стрептавидин.

Вариант III. Тест с НКЗ-стрептавидин, в котором на мембрану 2 (рисунок 1) дополнительно к НКЗ-S222-биотин наносили конъюгат НКЗ-БСА-биотин. Состав исследуемых тестов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав тестов для выявления СЭБ

Обозначение варианта теста	Наименование конъюгатов НКЗ	Оптическая плотность конъюгата (OD), е.о.п.	Нагрузка золя НКЗ по белку, мкг/мл	Соотношение конъюгатов НКЗ	Чувствительность*, нг/мл
Вариант I	НКЗ-S222	1,5	15,0	-	16,0/5,0
Вариант Ia	НКЗ-S222-биотин	2,0	15,0	-	25,0/5,0
Вариант II	НКЗ-S222-биотин НКЗ-стрептавидин	2,0 0,25	15,0 10,0	1:0,125	12,5/2,5
Вариант III	НКЗ-S222- биотин НКЗ-БСА-биотин НКЗ-стрептавидин	1,0 1,0 0,25	15,0 6,0 10	1:1:0,250	30/12,5
Вариант III	НКЗ-S222-биотин НКЗ-БСА-биотин НКЗ-стрептавидин	2,0 2,0 0,25	15,0 6,0 0,25	1:1:0,125	30/12,5

Примечание: * – числитель – визуальная регистрация, знаменатель – приборная

Зависимость интенсивности окрашивания аналитической зоны тестов от концентрации СЭБ при сочетании различных конъюгатов приведены на рисунках 2 и 3.

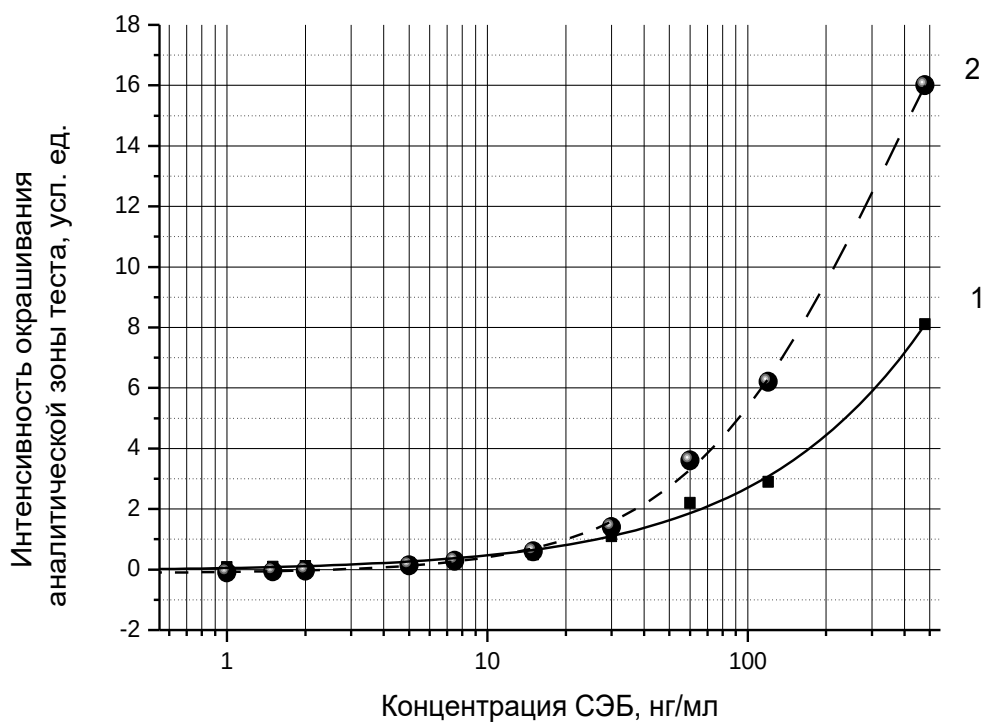


Рис. 2 – Графики зависимости интенсивности окрашивания аналитической зоны теста от концентрации СЭБ:
1 – тест с использованием конъюгата НКЗ-S222; 2 – тест с использованием конъюгатов НКЗ-S222-биотин и НКЗ-стрептавидин

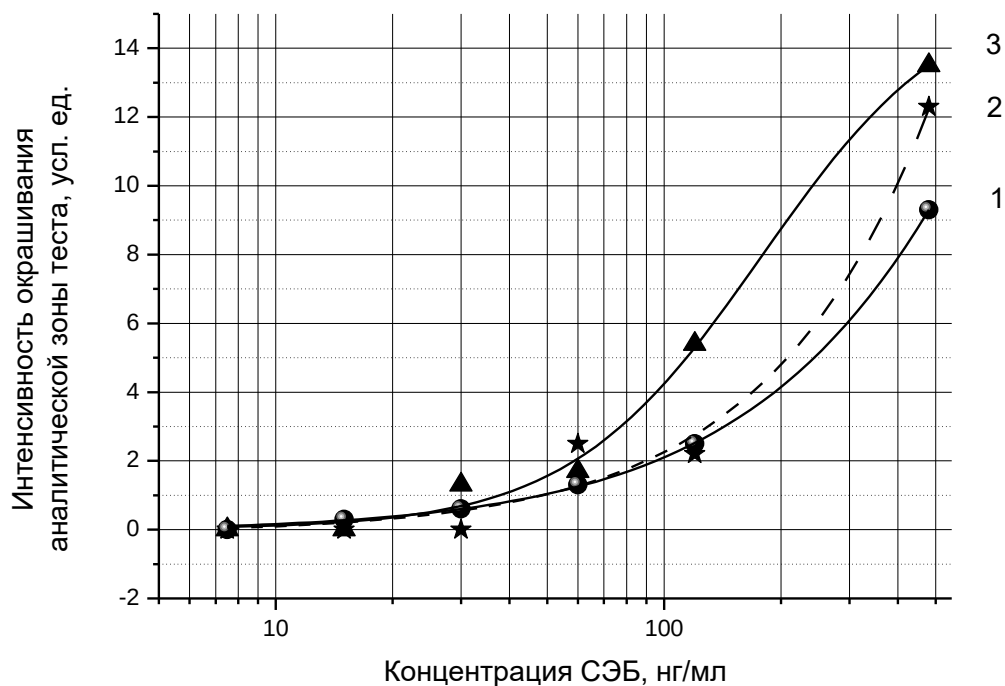


Рис. 3 – Графики зависимости интенсивности окрашивания аналитической зоны теста от концентрации СЭБ:
 1 – тест с использованием конъюгата НКЗ-S222-биотин; 2, 3 – тесты с использованием конъюгата НКЗ-S222-биотин, в присутствии дополнительных конъюгатов НКЗ-БСА-биотин, НКЗ-стрептавидин
 Примечание: кривая 2 - соотношение компонентов 1:1:0,250, кривая 3 - соотношение компонентов 1:1:0,125

В области малых концентраций (< 30 нг/мл) графики зависимостей, близки к линейным (рисунок 4).

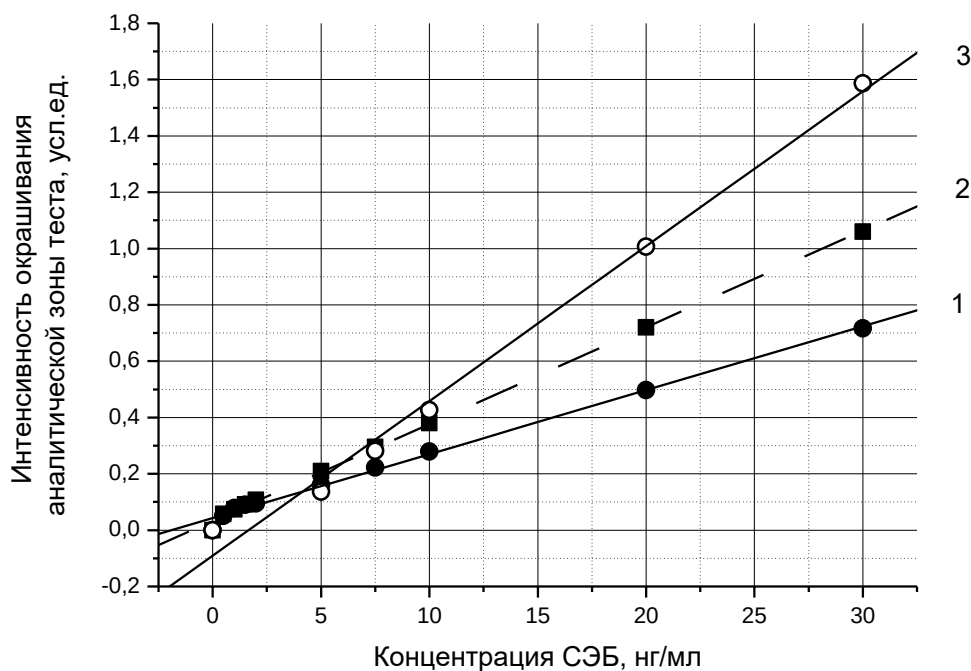


Рис. 4 – Графики зависимости интенсивности окрашивания аналитической зоны теста от концентрации СЭБ при использовании сочетаний конъюгатов НКЗ в области малых концентраций:
 1 – тест с использованием конъюгата НКЗ-S222-биотин; 2 – тест с использованием конъюгата НКЗ-S222;
 3 – тест с использованием конъюгатов НКЗ-S222-биотин, НКЗ-стрептавидин

Внешний вид иммунохроматограмм СЭБ приведен на рисунке 5.



Рис. 5 – Внешний вид иммунохроматограмм СЭБ при использовании различных сочетаний конъюгатов НКЗ, в скобках приведено значение оптической плотности конъюгата в е.о.п.:

1 – НКЗ-S222 (OD=1,5); 2 – НКЗ-S222-биотин (OD=2,0); 3 – НКЗ-S222-биотин+НКЗ-БСА-биотин (OD=2,0) каждого + НКЗ-стрептавидин (OD=0,25); 4 – НКЗ-S222-биотин+НКЗ-БСА-биотин(OD=4,0) + НКЗ-стрептавидин (OD=0,25); 5 – НКЗ-S222-биотин+НКЗ-БСА-биотин (OD=4,0) каждого + НКЗ-стрептавидин (OD=0,5)

Примечание: концентрация СЭБ во всех анализируемых образцах 120 нг/мл

Обсуждение

Целью настоящего исследования явилось изучение возможности повышения чувствительности ИХА, используя бифункциональный конъюгат НКЗ, способный связываться с антигенными эпитопами аналита и вступать в реакцию биотин-стрептавидин.

Для достижения указанной цели были синтезированы конъюгаты НКЗ-S222, НКЗ-S222-биотин, НКЗ-БСА-биотин и НКЗ-стрептавидин. Были изучены зависимости графики зависимости «сигнал-концентрация аналита» для различных вариантов сочетаний конъюгатов, используемых при построении иммунохроматографического теста.

Анализ графиков зависимости «сигнал-концентрация аналита» в полулогарифмических координатах показывает, что они хорошо аппроксимируются сигмоидной функцией с коэффициентом ковариации R^2 близкой к 0,99 (рисунок 2 и 3). При этом можно разделить графики зависимости на два участка. Первый участок – область концентраций аналита 0-20 нг/мл, в которых сигнал рефлектометрического анализатора иммунохроматограмм для различных вариантов тестов принимает близкие значения и участок концентраций ≥ 30 нг/мл, где графики зависимостей расходятся.

Варианты I и Ia. Иммунохроматографическая тест-система, в которой использовали формат «сэндвич-анализа» содержала конъюгат НКЗ-S222 и МКА S643 в аналитической зоне, проявила чувствительность 16,0 нг/мл, при визуальной регистрации и 5,0 нг/мл при приборной. Применение конъюгата биотинилированных антител НКЗ-S222-биотин уменьшило чувствительность теста при визуальной регистрации до 25,0 нг/мл. Вероятно, это произошло из-за того, что биотинилирование иммуноглобулинов влияет на константу устойчивости K_D комплексов антиген-антитело по сравнению с нативными антителами.

Вариант II. Введение дополнительного конъюгата со стрептавидином в состав теста привело к повышению визуальной чувствительности теста до 12,5 нг/мл СЭБ и 2,5 нг/мл при приборной регистрации. Конъюгаты НКЗ-S222-биотин взаимодействовали с СЭБ и далее образовывали агрегаты с конъюгатом НКЗ-стрептавидин. Образовавшийся комплекс фиксировался в аналитической зоне теста МКА S643 в виде агрегата. В нашем случае наблюдается значительное усиление окрашивания аналитической зоны по сравнению с обычным тестом (рисунок 2, кривая 2, рисунок 4, зависимость 3) за счет образования агрегатов НКЗ. Ранее, в работе [7] методом динамического светорассеяния было показано образование агрегатов наночастиц различного размера состоящих из конъюгатов НКЗ функционализированных специфическими биотинилированными антителами и НКЗ конъюгированных со стрептавидином. Было зафиксировано два пика светорассеяния, связанных с образованием агрегатов. Гидродинамические диаметры агрегатов НКЗ достигали 86 нм и 576 нм. Данные по динамическому светорассеянию отражают суммарный размер частиц конъюгата, включая иммобилизованные белки и гидратационную оболочку наночастицы. Гидродинамические диаметры являются информативными характеристиками агрегатов наночастиц и помогают понять механизм процессов при проведении ИХА.

Образование агрегатов НКЗ в результате реакции биотин-стрептавидин было также отмечено ранее в работе [11], что было использовано для усиления сигнала аналитической системы.

На рисунке 4 приведены графики линейных регрессий в области концентраций СЭБ <30 нг/мл, отражающие зависимости сигнала (показаний рефлектометрического анализатора иммунохроматограмм) от концентрации СЭБ. Чувствительность выявления СЭБ при применении дополнительного конъюгата НКЗ со стрептавидином составила 2,5 нг/мл при приборной регистрации, и 12,5 нг/мл при визуальной, что в 2,0 и 1,3 раза выше по сравнению с обычным тестом, не использующим взаимодействие биотин-стрептавидин.

Вариант III. В качестве дополнительного реагента использовали конъюгат НКЗ-БСА-биотин, который наносили на мембрану 2 (рисунок 1), совместно с конъюгатом с биотинилированными специфическими антителами НКЗ-S222-биотин. При этом подложка с конъюгатом НКЗ-стрептавидин в тесте сохранялась. Как показано методом динамического светорассеяния в работе [7], введение дополнительного конъюгата НКЗ-БСА-биотин способствовало образованию более крупных агрегатов всех конъюгатов и белкового аналита, за счет уменьшения стерических препятствий при взаимодействии функционализированных наночастиц с образованием кросс-сшивок между ними. При этом наблюдали агрегаты с гидродинамическими диаметрами 139 ± 24 нм, 452 ± 87 нм, 4657 ± 380 нм. Схематически состав такого агрегата может выглядеть следующим образом: $[(\text{НКЗ-БСА-биотин})_m - (\text{НКЗ-стрептавидин})_p - (\text{НКЗ-S222-биотин-аналит})_n]$

Как видно из таблицы 1 для указанной тест-системы рассматривали соотношения конъюгатов наночастиц с биотинилированными специфическими антителами, биотином и стрептавидином 1:1:0,250 и 1:1:0,125. О количестве

конъюгатов судили по оптической плотности препаратов НКЗ, предполагая, что функционализированные наночастицы имеют равные параметры светорассеяния и коэффициенты экстинкции, поскольку были приготовлены из одной партии золя. Внешний вид иммунохроматограмм СЭБ в этом варианте анализа приведен на рисунке 5. Вид графиков зависимостей «сигнал-концентрация аналита» изменялся от соотношения количества конъюгатов в тест-полоске (рисунок 3). Видно, что в области концентраций СЭБ ≥ 40 нг/мл, при соотношении конъюгатов 1:1:0,250 наклон кривой 2 меньше, чем наклон кривой 3 при соотношении 1:1:0,125. Это явление объясняется тем, что более высокая доля конъюгатов со стрептавидином, реагируя с биотином, частично ингибирует образование конечного продукта, способного связаться в аналитической зоне с МКА S643. Очевидно также, что и слишком малая концентрация конъюгата со стрептавидином не приведет к образованию агрегатов золотых наночастиц и не вызовет усиления интенсивности окрашивания. Тем не менее, как следует из сравнения кривых 2 и 3 на рисунке 3, введение конъюгатов НКЗ-БСА-биотин, в качестве второго усиливающего конъюгата, дает эффект усиления окрашивания аналитической зоны по сравнению с обычной тест-системой, где в качестве конъюгата использовался НКЗ-S222-биотин (рисунок 3, кривая 1). Однако введение дополнительного конъюгата НКЗ-БСА-биотин в различных соотношениях не дало в нашем случае выигрыша в чувствительности (таблица 1) по сравнению с обычным тестом на СЭБ.

Заключение

Как показывают собственные и литературные данные чувствительность ИХА в обычном варианте и вариантах с использованием в качестве бифункционального реагента биотинилированных специфических иммуноглобулинов, для синтеза иммунохроматографического конъюгата, и дополнительных конъюгатов НКЗ-стрептавидин и НКЗ-БСА-биотин зависит от белковой нагрузки на конъюгат, молярного соотношения иммунореагентов.

Основными выводами исследования явилось то, что использование при построении иммунохроматографического теста конъюгатов НКЗ с функционализированными биотином специфическими моноклональными иммуноглобулинами против антигенов СЭБ (НКЗ-S222-биотин) и дополнительных конъюгатов НКЗ-стрептавидин показало повышение чувствительности выявления СЭБ до 2,5 нг/мл при приборной регистрации, и 12,5 нг/мл при визуальной. Эта чувствительность в 2,0 и 1,3 раза выше по сравнению с обычным тестом, где взаимодействие биотин-стрептавидин отсутствует. Повышение чувствительности объясняется образованием агрегатов наночастиц, которые повышают «заметность» аналитической зоны теста. Сравнение ИХА тестов для выявления СЭБ с применением бифункциональных конъюгатов и тестов применением солей серебра [3] показало определенные преимущества первых. Преимущества заключаются в уменьшении времени анализа с 45 мин до 25 мин, отсутствии необходимости после стадии иммунохроматографии вносить в тест свежеприготовленный усиливающий раствор гидрохинона и нитрата серебра, отсутствие фоточувствительности реакции.

Применение второго конъюгата НКЗ-БСА-биотин, в сочетании конъюгатом НКЗ-стрептавидин также показало наличие эффекта усиления окрашивания аналитической зоны теста, особенно в области концентраций аналита ≥ 40 нг/мл, но не привело к увеличению чувствительности теста.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Rodriguez, M.O. Silver and gold enhancement methods for lateral flow immunoassays / M.O. Rodriguez // *Talanta*. - 2016. - V.148. - P. 272-278.
- Zhang, K. Hollow nanogold microsphere-signalized lateral flow immunodipstick for the sensitive determination of the neurotoxin brevetoxin B. / K. Zhang et al. // *Microchimica Acta*. - 2014. - V.181. - №11. - P. 1447-1454.
- Ярков С.П. Повышение чувствительности иммунохроматографических тестов для выявления возбудителя сибирской язвы и стафилококкового энтеротоксина типа В на основе усиления серебром и инструментальной регистрации. / С.П. Ярков, С.И. Третьяков, Е.К. Шаулина и др. // *Медицина экстремальных ситуаций*. - 2019. - Т. 21. - №3. - С.455-463.
- Zhong Y. Gold nanoparticles based lateral flow immunoassay with largely amplified sensitivity for rapid melamine screening. / Y. Zhong, Y. Chen, L. Yao // *Microchim Acta*. - 2016. - V.183. - № 6. - P. 1989-1994. DOI: 10.1007/s00604-016
- Shen G.Y. Lateral flow immunoassay with the signal enhanced by gold nanoparticle aggregates based on polyamidoamine dendrimer. / Shen G.Y., Xu H., Gurung A.S. et al. // *Anal. Sci.* - 2013. - V. 29. - №8. - P. 799-804. DOI: 10.2116/analsci.29.799
- Серебренникова К. В. Повышение чувствительности латерального проточного иммуноанализа с помощью системы биотин-стрептавидин. / К. В. Серебренникова, Ж.В. Самсонова, А.П. Осипов // *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2., Химия*. - 2018. - Т.59. - №3. - С.230-233.
- Taranova N. A. Bifunctional gold nanoparticles as an agglomeration-enhancing tool for highly sensitive lateral flow tests: a case study with procalcitonin / N. A. Taranova, A. E. Urusov, E. Sadykhov, et al. // *Microchimica Acta*. - 2017. - V. 184. - №10. - P.4189-4195 DOI: 10.1007/s00604-017-2355-4.
- Frens G. Controlled nucleation for the regulation of particle size in monodisperse gold suspension / G. Frens // *Nat. Phys. Sci.* - 1973. - V. 241. - P. 20-22.
- Бызова Н.А. Сравнительная характеристика наночастиц коллоидного золота разного диаметра как носителей и маркеров в иммунохроматографическом анализе. / Н.А. Бызова, И.В. Сафенкова, А.В. Жердев и др. // *Естественные и технические науки*. - 2012. - № 1. - С. 62-71.
- Hermanson G.T. Bioconjugate Techniques / Hermanson G.T. Bioconjugate Techniques- 2nd Edition. - San Diego: Elsevier / Academic Press, 2008. - 1323 P.
- Cho, I.-H. In-situ immuno-gold nanoparticle network ELISA biosensors for pathogen detection. / Cho, I.-H., Irudayaraj, J. // *International Journal of Food Microbiology*. - 2013. - V.164. - №1. - P.70-75. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.02.025.

Список литературы на английском языке/References in English

1. Rodriguez, M.O. Silver and gold enhancement methods for lateral flow immunoassays / M.O. Rodriguez // *Talanta*.- 2016. -V.148.- P. 272-278.
2. Zhang, K. Hollow nanogold microsphere-signalized lateral flow immunodipstick for the sensitive determination of the neurotoxin brevetoxin B. / K. Zhang et al.// *Microchimica Acta*. --2014. – V.181. -№11.- P. 1447-1454.
3. Yarkov S.P. Povyshenie chuvstvitel'nosti immunohromatograficheskikh testov dlja vyjavleniya возбуdivitelja sibirskoj jazvy i stafilokokkovogo jenterotoksina tipa V na osnove usilenija serebrom i instrumental'noj registracii. [Increasing the sensitivity of immunochromatographic tests to identify the causative agent of anthrax and staphylococcal enterotoxin type B based on silver amplification and instrumental registration] / Yarkov S.P., Tretyakov S.I., Shaulina E.K., et al. // *Medicina jekstremal'nyh situacij*. [Medicine of extreme situations.] - 2019.- V. 21.- №3.- P.455-463. [in Russian]
4. Zhong Y. Gold nanoparticles based lateral flow immunoassay with largely amplified sensitivity for rapid melamine screening./ Y. Zhong, Y. Chen, L. Yao // *Microchim Acta*. -2016-V.183.- № 6.- P. 1989–1994 . DOI: 10.1007/s00604-016
5. Shen G.Y. Lateral flow immunoassay with the signal enhanced by gold nanoparticle aggregates based on polyamidoamine dendrimer./ Shen G.Y. , Xu H., Gurung A.S. et al. // *Anal. Sci.*- 2013.- V. 29.- №8.- P. 799–804. DOI: 10.2116/analsci.29.799
6. Serebrennikova K. V. Povyshenie chuvstvitel'nosti lateral'nogo protochnogo immunoanaliza s pomoshh'ju sistemy biotin–streptavidin. [Increasing the sensitivity of lateral flow immunoassay using the biotin-streptavidin system]. / Serebrennikova K. V., Samsonova Zh.V., Osipov A.P. // *Vestn. Mosk. Un-ta. Ser. 2., Khimija* [Vestn. Moscow University. Ser. 2., Chemistry]. - 2018.- Vol.59.- №3.- P.230-233. [in Russian]
7. Taranova N. A. Bifunctional gold nanoparticles as an agglomeration-enhancing tool for highly sensitive lateral flow tests: a case study with procalcitonin / N. A. Taranova, A. E. Urusov, E. Sadykhov, et al. // *Microchimica Acta*. - 2017.- V. 184. -№10.- P.4189-4195 DOI: 10.1007/s00604-017-2355-4.
8. Frens G. Controlled nucleation for the regulation of particle size in monodisperse gold suspension / G. Frens // *Nat. Phys. Sci.* - 1973. -V. 241.- P. 20–22.
9. Byzova N.A. Sravnitel'naja harakteristika nanochastich kolloidnogo zolota raznogo diametra kak nositelej i markerov v immunohromatograficheskom analize.[Comparative characteristics of colloidal gold nanoparticles of different diameters as carriers and markers in immunochromatographic analysis]. / Byzova N.A., Safenkova I.V., Zherdev A.V., et al. // *Estestvennye i tehnicheckie nauki* [Natural and technical sciences].-2012.- № 1.- P. 62-71. [in Russian]
10. Hermanson G.T. Bioconjugate Techniques / Hermanson G.T. Bioconjugate Techniques- 2nd Edition. - San Diego: Elsevier / Academic Press, 2008.- 1323 P.
- 11 Cho, I.-H. In-situ immuno-gold nanoparticle network ELISA biosensors for pathogen detection./ Cho, I.-H., Irudayaraj, J.// *International Journal of Food Microbiology*.- 2013.- V.164.- №1.-P.70–75. DOI:.1016/ j.ijfoodmicro.2013.02.025.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.020>

ИНТЕГРИРОВАНИЕ В EXCEL БЕЗ МАКРОСОВ НА ПРИМЕРЕ ИНТЕГРАЛА АРРЕНИУСА

Научная статья

Бондарчук И.С.¹, Бондарчук С.С.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0001-6995-0547;² ORCID: 0000-0001-6842-9143;¹ Томский государственный университет, Томск, Россия;² Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия;² Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, Бийск, Россия

* Корреспондирующий автор (isbs[at]mail.ru)

Аннотация

В статье предлагается эффективный (достаточно точный, простой и интуитивно понятный быстро исполняемый и имеющий короткий программный код) алгоритм, опирающийся на широкие вычислительные возможности Excel без использования макросов VBA. В качестве примера приводится реализация вычисления интеграла Аррениуса в одной ячейке Excel. Точность вычислений анализируется сравнением с часто используемыми в химической кинетике аппроксимациями расчета интеграла для диапазона значений, имеющих место при протекании газо- и твердофазных реакций.

Данный алгоритм может быть использован для численного интегрирования других "неберущихся" интегралов, встречающихся при решении практических задач и обработке данных.

Иллюстрирующие текст примеры (скриншоты листов электронных таблиц) содержат комментарии и допускают быстрое воспроизведение и проверку.

Ключевые слова: численное интегрирование, интеграл Аррениуса, электронные таблицы, Excel.

INTEGRATION IN EXCEL WITHOUT MACROS ON THE EXAMPLE OF ARRHENIUS INTEGRAL

Research article

Bondarchuk I.S.¹, Bondarchuk S.S.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0001-6995-0547;² ORCID: 0000-0001-6842-9143;¹ Tomsk State University, Tomsk, Russia;² Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia;² Institute for Problems in Chemical and Energetic Technologies SB RAS, Russia

* Corresponding author (isbs[at]mail.ru)

Abstract

The article proposes an efficient (accurate, simple and intuitively clear, fast executable and having a short program code) algorithm based on the broad computing capabilities of Excel without using VBA macros. As an example, the implementation of the calculation of the Arrhenius integral in one Excel cell is given. The accuracy of the calculations is analyzed by comparison with the often-used approximations in chemical kinetics for calculating the integral for the range of values that occur during gas and solid-phase reactions. This algorithm can be used for the numerical integration of other nonelementary integrals encountered in solving practical problems and data processing. Illustrative examples (screenshots of a spreadsheet) contain comments and can be quickly reproduced and checked.

Keywords: numerical integration, Arrhenius integral, spreadsheets, Excel.

Introduction

One of the most accessible computational tools for data processing [1], [3], [5], [6] and solutions to relatively simple engineering problems [7], [8], [9] for researchers who are not professional programmers in their field are Excel spreadsheets.

A large number of mathematical models include terms describing any processes associated with the rate of chemical reactions [10], [11], [14], [15]. The most important parameter on which the rate constant of a chemical reaction k depends is the temperature T . To describe the dependence $k(T)$, the empirical formula (function, law) of Arrhenius [16], which has the form

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right), R \cong 8.3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}, \quad (1)$$

where E is the activation energy (J mol^{-1}), and $A = \text{const}$ is the pre-exponential factor (also known as frequency factor) whose dimension determines the dimension of the reaction rate constant.

Although the Arrhenius eq 1 is most often used to describe the temperature dependence $k(T)$, it is not always the best approximation of the experimental data [17, 18]. In particular, the "extended" empirical equation [18]

$$k = A \cdot T^m \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right) \quad (2)$$

depends on three parameters (A , m , and E) can more accurately approximate the experimental data than the traditionally used eq 1.

In the process of implementing models in many methods, it must calculate (or estimate the value) of the integral of the Arrhenius function.

The simplest and most accessible computing environment for researchers is spreadsheets, in particular, Excel with its sufficiently developed apparatus for computational and statistical functions. This is evidenced by several monographs and publications on solving problems of chemical kinetics using Excel tools [2], [3], [4], [6]. The use of spreadsheets does not require a special study of programming disciplines and is a convenient tool for automating calculations. An important circumstance is that Excel allows you to implement a short and "transparent" program code (in the proposed algorithm, the integral value is calculated in one cell of the spreadsheet), when the problem is solved without using VBA macros.

Theory and algorithm

When solving many problems of chemical kinetics, it must calculate the value of the integral of the Arrhenius function, which is called the Arrhenius integral I_A in the literature. This integral is nonelementary, i. e., it cannot be expressed via elementary functions.

To estimate the value of the integral I_A a large number of approximate solutions [17] have been published to this day; they vary in complexity and precision. The approximation data are based on the expansion (or the rational and the exponential approximations) of Arrhenius function via the dimensionless parameter $x = E/RT$

$$I_A(E, T) = \int_0^T e^{-(E/RT)} dT = \int_0^T e^{-x} dx \approx e^{-x} p(x),$$

where $p(x)$ is some function.

However, many of these approximations are gross or even inaccurate, especially for low values of the parameter x [17]. So, for example, for the Coats-Redfern formula [19]

$$I_A(E, T) \approx \frac{RT^2}{E} \left(1 - 2 \frac{RT}{E} \right) e^{-(E/RT)} \quad (3)$$

the error reaches tens of percentage for small values of $x < 10$.

For the range of values of the complex $x \in [5; 100]$ realized during gas and solid-phase reactions, one of the most accurate for calculating the Arrhenius integral is the Junmeng approximation [17]

$$I_A(E, T) \approx \frac{RT^2}{E} \frac{E/RT + 0.25403 \ln(E/RT) + 0.36665}{E/RT + 0.24598 \ln(E/RT) + 2.41457} e^{-(E/RT)}. \quad (4)$$

Using approximate formulas eq 3, 4, the estimated value of the Arrhenius integral I_A with a change in temperature in the range from T_1 to T_2 is determined by the relation

$$I = \int_{T_1}^{T_2} e^{-(E/RT)} dT = I_A(E, T_2) - I_A(E, T_1).$$

So, for example, according to the most accurate approximation eq 4 for $E/R = 4000$ K, the value of the Arrhenius integral is

$$\int_{500}^{600} e^{-(E/RT)} dT \cong 0.07308457.$$

But if we bear in mind the simplicity and accuracy of calculations for the important range of variation of the complex $x = E/RT$, then it is more expedient to use the numerical calculation of the integral, the effective algorithm for which is presented below. Moreover, the numerical calculation, in addition to the higher accuracy for the entire interesting range of variation of the E/R values are implemented by a shorter spreadsheet program code.

Known quadrature formulas can be obtained directly from the definition of the integral and its geometric interpretation $I = \int_a^b f(x) dx$ as the area of a curvilinear trapezoid for function $f(x)$. For the problem in question, the midpoint rule [20] is the best solution in terms of precision and implementation complexity. According to this rule, the value of the integral is determined by the sum m of the areas of rectangles of equal width $h = (b - a)/m$, a subinterval $[a, b]$ integration limits interval. The height of each rectangle is determined by the value of the function $f(x)$ for the average x in each subinterval of

$$I \cong h \sum_{i=1}^m f(a + (i - 0.5)h). \quad (5)$$

The approximation error of eq 5 is proportional to h^2 .

As an example, the following is an algorithm and the result of calculating the Arrhenius integral for the parameter $E/R=4000$ K in the temperature range from $T_1=500$ K to $T_2=600$ K.

Following the eq 5 of the middle rectangles, the current temperature value T_i for 10000 nodes of integration at each node (middle of the subinterval) within the limits of integration from T_1 to T_2 is determined by the relation

$$T_i = T_1 + (i - 0.5)\Delta T, i = 1, 2, \dots, 10000, \Delta T = (T_2 - T_1)/10000.$$

The value of the integral is determined via the sum

$$I = \Delta T \sum_{i=1}^{10000} \exp\left(\frac{E}{RT_i}\right). \quad (6)$$

To generate a sequence of numbers (1, 2, ..., 10000) MS Excel ROW(A1:A10000) function is used in the CSE format (Ctrl + Shift + Enter) of an array formula [21].

Figure 1 shows the program code in MS Excel and the results of the calculation of the Arrhenius integral I_A for $E/R = 4000$ K in the temperature range from 500 K to 600 K both for the proposed "single-cell" implementation for 10000 integration subintervals and the most precise approximation formula [17]. Copying formulas by dragging the fill handle is shown with bold arrows.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	This study							
2		$T_1 =$	500					
3		$T_2 =$	600					
4							$= (D3 - D2) / 10000$	
5		E/R		$I =$	7,3084967274E-02		$\Delta T =$	0,01
6		4000						
7							array formula (CSE-formula)	
8		$\{=SUM(1/EXP(B6/ (D2+(ROW(A1:A10000)-0,5)*H5)))*H5\}$						
9							Error, % =	5,00E-08
10	Junmeng's approximate formula [17]							
11		$E/(RT_1) =$		8,00			$= B\$6 / D2$	
12		$E/(RT_2) =$		6,67				
13		$= (E11 + 0,25403 * LN(E11) + 0,36665) / (E11 + 0,24598 * LN(E11) + 2,41457) / E11 * D2 / EXP(E11)$						
14		$I_A(E, T_1) =$		1,706871E-02				
15		$I_A(E, T_2) =$		9,015328E-02			Error, % =	5,50E-04
16								
17		$I =$		7,3084565255E-02			$= E15 - E14$	
18								
19		Simpson's rule to approximate		7,3084967311E-02				

Fig. 1 – Worksheet of the Arrhenius integral calculation

The table below is the difference (%) of the calculated values of the Arrhenius integral for an interesting range of variations of the E/RT complex compared with the values obtained using the Simpson method with an accuracy of 10^{-10} .

Table 1 – Relative errors of Arrhenius integral approximations in percentages

$E/R, K$	2000	4000	8000	16000	32000	64000
$x = E/(RT)$	3,3÷4,0	6,7÷8,0	13,3÷16,0	26,7÷32,0	53,3÷64,0	106÷128
approximation	Error-values (%)					
Coats-Redfern	46,4	11,8	3,0	0,8	0,2	0,05
Junmeng	$6 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$
eq (6)	$8 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$

It is easy to increase if required, the accuracy of calculations in the region of large values of $E/R > 30000$ K for eq 6 by increasing the number of integration intervals.

The most accurate formula found by the authors for calculating the extended Arrhenius integral is the approximation Lei [18]

$$I_q(x, T, q) = \frac{T^{q+1}}{2x} \left[\sqrt{(x+q+1)^2 + 4x} - x - q - 1 \right] e^x,$$

$$I = \int_{T_1}^{T_2} T^q e^{-(E/RT)} dT \approx I_q(x, T_2) - I_q(x, T_1).$$

Figure 2 shows a screenshot of the Excel sheet for calculating the value of the extended integral of the extended Arrhenius function (2), from which it can be seen that the proposed approach is 6 orders of magnitude more accurate than the best approximation [18].

1	This study			
2	$T_1 =$	500		
3	$T_2 =$	600		
4				$= (D3-D2)/10000$
5	E/R	$I =$	3,0895945573E-03	$\Delta T =$ 0,01
6	4000			array formula (CSE-formula)
7	/	{=SUM ((D2+(СТРОКА(A1:A10000)-0,5)*H5) ^B9 / EXP(B6/(D2 +(ROW(A1:A10000)-0,5)*H5))) *H5}		
8	q			
9	-0,5			
10				Error, % = 4,16E-08
11	Lei X.-W. approximate formula [18]			
12	$x_1 =$	8,00		$=B\$6/D2$
13	$x_2 =$	6,67		
14				
15		$=(((E12+B\$9+1)^2+4*E12)^{0,5}-E12-B\$9-1)/2$		
16		$/ \text{EXP}(E12/E12*D2^{(B\$9+1)})$		
17	$I_q(x_1, T_1, q) =$	8,018233E-04		
18	$I_q(x_2, T_2, q) =$	3,896629E-03		Error, % = 0,17
19				
20		$I =$	3,0948060469E-03	$=E25-E24$
21				
22				
23	Simpson's rule to approximate	3,0895945586E-03		
24				

Fig. 2 – Worksheet of the modified Arrhenius integral calculation

A comparative analysis of the numerical estimates of the Arrhenius integral shows that for the range of E/RT values implemented in practical studies, the accuracy of the proposed calculation algorithm is several orders of magnitude higher than any used approximations.

Conclusion

The algorithm allows calculating with high accuracy the value of the Arrhenius integral (in one Excel cell) for the entire interesting range of values of the E/RT complex instead of using any of its approximations. The algorithm is easily generalized to the integral of the extended Arrhenius function.

The algorithm is implemented by a simple short program code, does not require programming experience in high-level languages, and can be easily mastered by researchers. The code and calculation results are illustrated with screenshots of Excel worksheets – the most common software for analyzing numerical data. The code is annotated showing all the formulas used and provides complete instructions for numerical integration.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. De Levie R. How to use Excel® in Analytical Chemistry and in General Scientific Data Analysis / R. De Levie. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 487 p.
2. Бондарчук С.С. Статобработка экспериментальных данных в MS Excel: учебное пособие / С.С. Бондарчук, И.С. Бондарчук. – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 2018. – 431 с.
3. Liengme B.V. A guide to Microsoft Excel 2013 for scientists and engineers / B.V. Liengme. – Amsterdam: Academic Press, 2016. pp. 273–287.
4. Бондарчук И.С. Кинетика гомогенных химических реакций: методы решения в Excel / И.С. Бондарчук, С.С. Бондарчук. – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 2019. – 263 с.
5. Бондарчук И.С. Методология решения задач физической химии инструментом Solver MS Excel / И.С. Бондарчук, И.А. Курзина, С.С. Бондарчук // Высшее образование сегодня. – 2014. – № 9. – С. 22-24.

6. Бондарчук И.С. Идентификация кинетических параметров процесса десорбции / И.С. Бондарчук, И.А. Жуков и др. // Перспективы развития фундаментальных наук: сб. труд. XII Межд. конф. / Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2015. – С. 380–382.
7. Бондарчук И.С. Критерий формообразования частиц в процессе плазмохимического синтеза порошков / И.С. Бондарчук, А.С. Жуков // Химическая физика и актуальные проблемы энергетики: сб. докл. и ст. Всерос. молод. конф. / Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2012. – С. 34–38.
8. Bondarchuk I.S. Identification of kinetic triplets by results of derivatographic analysis / I.S. Bondarchuk, S.S. Bondarchuk, B.V. Borisov // Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment. MATEC Web of Conferences. – 2018, – P. 01010(1)-01010(4).
9. Бондарчук И.С. Идентификация кинетических параметров твердофазных реакций / И.С. Бондарчук, И.А. Жуков и др. // Полифункциональные химические материалы и технологии. Мат-лы межд. науч. конф. / Томск: Издательский Дом ТГУ, 2015. – Т. 2. – С. 34–37.
10. Zhukov A. Energetic borides: combustion synthesis and properties / A. Zhukov, M. Ziatdinov, I. Bondarchuk et al. // Proc. of the 46th Int. Ann. Conf. of the Fraunhofer ICT. – 2015. – P. P75(1)–P75(5).
11. Vorozhtsov A. The mutual Influence of nanometal additives on heat release rate in energetic condensed systems / A. Vorozhtsov, N. Rodkevich, I. Bondarchuk et al. // Int. J. Energetic Materials Chem. Prop. – 2017. – V. 16 (4). – P. 329–336.
12. Bondarchuk I. Modeling the evolution of the aerosol cloud of toxicants in the atmosphere / I. Bondarchuk, S. Bondarchuk, B. Borisov // MATEC Web of Conferences. – 2017. – V. 141: Smart Grids 2017: The Fifth Int. Youth Forum, 9-13 October, 2017, Tomsk, Russia. – P. 01013(1) – P. 01013(6).
13. Vorozhtsov A. Ballistic characteristics of solid propellants containing dual oxidizer/ A. Vorozhtsov, V. Arkhipov, S. Bondarchuk et al. // Proc. European Conference for Aerospace Sciences EUCASS. 2005. – P. 5.03.01(1)-P. 5.03.01(8).
14. Vorozhtsov A. Thermokinetic investigation of the aluminum nanoparticles oxidation / A. Vorozhtsov, N. Rodkevich, I. Bondarchuk et al. // Int. J. Energetic Materials Chem. Prop. – 2017. – V. 16 (4). – P. 309–320.
15. Zhukov I. Plasma-chemical method for producing metal oxide powders and their application / I. Zhukov., S. Vorozhtsov, V. Promakhov et al. // Journal of Physics: Conference Series. – 2015. – V. 652. – P. 012027(1)-012027(5).
16. Arrhenius S. About the reaction rate in the inversion of cane sugar/ S. Arrhenius // Z. Phys. Chem. – 1889. 4. – P. 226–248.
17. Arrhenius S. About the reaction rate in the inversion of cane sugar / S. Arrhenius // Z. Phys. Chem. – 1889. 4, – P. 226–248.
18. Junmeng C. A new formula approximating the Arrhenius integral to perform the non-isothermal kinetics / C. Junmeng, H. Fang et al. // Chem. Eng. J. – 2006. – V. 124 (1-3). – P. 15–18.
19. Lei X.-W. New analytical approximate solution of the generalised temperature integral for kinetic reactions / X.-W. Lei, J.-B. Liu et al. // Materials Science and Technology. – 2020. – V. 36. – P. 1655–1662.
20. Coats A.W. Kinetic Parameters from Thermogravimetric Data / A.W. Coats, J. P. Redfern // Nature. – 1964. – V. 201. – P. 68–69.
21. Burden R.L. Numerical Analysis / R.L. Burden, J.D. Faires. – Boston: Cengage Learning, 2011. – 888 p.
22. Microsoft support. [Electronic resource]. URL: <https://support.microsoft.com/en-us/office/video-array-formulas-8ff8257a-b28e-4e81-b4f8-30f793412dfa> (accessed 21.08.2020).

Список литературы на английском языке / References in English

1. De Levie R. How to use Excel® in Analytical Chemistry and in General Scientific Data Analysis / R. De Levie. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 487 p.
2. Bondarchuk S.S. Statobrabotka eksperimental'nykh dannykh v MS Excel: uchebnoe posobie [Statistical processing of experimental data in MS Excel: a tutorial] / S.S. Bondarchuk, I.S. Bondarchuk. – Tomsk: Publishing house of Tomsk state ped. un-ty, 2018. – 431 p [in Russian].
3. Liengme B.V. A guide to Microsoft Excel 2013 for scientists and engineers / B.V. Liengme. – Amsterdam: Academic Press, 2016. pp. 273–287.
4. Bondarchuk I.S. Kinetika gomogennykh khimicheskikh reaktsij: metody resheniya v Excel [Kinetics of Homogeneous Chemical Reactions: Methods of Solution in Excel] / I.S. Bondarchuk, S.S. Bondarchuk. – Tomsk: Publishing house of Tomsk state ped. un-ty, 2018. – 263 p [in Russian].
5. Bondarchuk I.S. Metodologiya resheniya zadach fizicheskoy khimii instrumentom Solver MS Excel [Methodology for solving problems of physical chemistry using the Solver MS Excel tool] / I.S. Bondarchuk, I.A. Kurzina, S.S. Bondarchuk // Vysshee obrazovanie segodnya [Higher education today]. – 2014. – № 9. – P. 22–24 [in Russian].
6. Bondarchuk I.S. Identifikatsiya kineticheskikh parametrov protsessa desorbtsii [Identification of the kinetic parameters of the desorption process] / I.S. Bondarchuk, I.A. Zhukov, V.V. Promakhov // Perspektivy razvitiya fundamental'nykh nauk: sb. trud. XII Mezhd. konf. [Prospects for the development of fundamental sciences: collection of articles XII International Conference] / Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2015. – pp 380–382 [in Russian].
7. Bondarchuk I.S. Kriterij formoobrazovaniya chastits v protsesse plazmokhimicheskogo sinteza poroshkov [The criterion for the particles formation in the process of plasma-chemical synthesis of powders] / I.S. Bondarchuk, A.S. Zhukov // Khimicheskaya fizika i aktual'nye problemy energetiki: sb. dokl. i-st. Vseros. konf. [Chemical physics and current problem of power engineering: collection of reports and articles All-Russian] / Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic. University, 2012. – 34–38 pp [in Russian].
8. Bondarchuk I.S. Identification of kinetic triplets by results of derivatographic analysis / I.S. Bondarchuk, S.S. Bondarchuk, B.V. Borisov // Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment. MATEC Web of Conferences. – 2018, – P. 01010(1)-01010(4).
9. Bondarchuk I.S. Identifikatsiya kineticheskikh parametrov tverdogfaznykh reaktsij [Identification of kinetic parameters of solid-phase reactions] / I.S. Bondarchuk, I.A. Zhukov et al. // Polifunktsional'nye khimicheskie materialy i tekhnologii [Multifunctional chemical materials and technologies] / Tomsk: TSU Publishing House, 2015. – Vol. 2. – 34–37 pp [in Russian].

10. Zhukov A. Energetic borides: combustion synthesis and properties / A. Zhukov, M. Ziatdinov, I. Bondarchuk et al. // Proc. of the 46th Int. Ann. Conf. of the Fraunhofer ICT. – 2015. – P. P75(1)–P75(5).
11. Vorozhtsov A. The mutual Influence of nanometal additives on heat release rate in energetic condensed systems / A. Vorozhtsov, N. Rodkevich, I. Bondarchuk et al. // Int. J. Energetic Materials Chem. Prop. – 2017. – V. 16 (4). – P. 329–336.
12. Bondarchuk I. Modeling the evolution of the aerosol cloud of toxicants in the atmosphere / I. Bondarchuk, S. Bondarchuk, B. Borisov // MATEC Web of Conferences. – 2017. – V. 141: Smart Grids 2017: The Fifth Int. Youth Forum, 9-13 October, 2017, Tomsk, Russia. – P. 01013(1) – P. 01013(6)
13. Vorozhtsov A. Ballistic characteristics of solid propellants containing dual oxidizer/ A. Vorozhtsov, V. Arkhipov, S. Bondarchuk et al. // Proc. European Conference for Aerospace Sciences EUCASS. 2005. – P. 5.03.01(1)-P. 5.03.01(8).
14. Vorozhtsov A. Thermokinetic investigation of the aluminum nanoparticles oxidation / A. Vorozhtsov, N. Rodkevich, I. Bondarchuk et al. // Int. J. Energetic Materials Chem. Prop. – 2017. – V. 16 (4). – P. 309–320.
15. Zhukov I. Plasma-chemical method for producing metal oxide powders and their application / I. Zhukov., S. Vorozhtsov, V. Promakhov, I. Bondarchuk et al. // Journal of Physics: Conference Series. – 2015. – V. 652. – P. 012027(1)-012027(5).
16. Arrhenius S. About the reaction rate in the inversion of cane sugar / S. Arrhenius // Z. Phys. Chem. – 1889. 4, – P. 226–248.
17. Junmeng C. A new formula approximating the Arrhenius integral to perform the non-isothermal kinetics / C. Junmeng, H. Fang et al. // Chem. Eng. J. – 2006. – V. 124 (1 3). – P. 15-18.
18. Lei X.-W. New analytical approximate solution of the generalised temperature integral for kinetic reactions / X.-W. Lei, J.-B. Liu et al. // Materials Science and Technology. – 2020. – V. 36. – P. 1655-1662.
19. Coats A.W. Kinetic Parameters from Thermogravimetric Data / A.W. Coats, J. P. Redfern // Nature. – 1964. – V. 201. – P. 68–69.
20. Burden R.L. Numerical Analysis / R.L. Burden, J.D. Faires. – Boston: Cengage Learning, 2011. – 888 p.
21. Microsoft support. [Electronic resource]. URL: <https://support.microsoft.com/en-us/office/video-array-formulas-8ff8257a-b28e-4e81-b4f8-30f793412dfa> (accessed: 21.08.2020).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.021>**АДСОРБЦИЯ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА И КАПРОЛАКТАМА
ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ПРИСУТСТВИИ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ**

Научная статья

Соловьева Ю.В.^{1,*}, Юстратов В.П.², Васильева И.В.³, Голубева Н.С.⁴^{1,3} Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия;^{2,4} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

* Корреспондирующий автор (sol.j[at]mail.ru)

Аннотация

Проведены исследования процесса адсорбции диметилформамида и капролактама при их совместном присутствии. В качестве адсорбентов использовали промышленные активные угли марок АГ-ОВ-1, СКД-515 и АГ-5 (АО «Сорбент» г. Пермь), которые отличаются сырьем, способом получения и адсорбционными свойствами. Методами порометрии и РФС-спектроскопии определены основные изменения поверхности активных углей, вызванные адсорбцией диметилформамида и капролактама. Установлены особенности, закономерности и механизм адсорбции диметилформамида и капролактама при их совместном присутствии из водных растворов промышленными активными углями. Присутствие капролактама в растворе диметилформамида приводит к значительному нарушению структуры водной среды и значительным изменениям изотерм адсорбции. Наибольшей адсорбционной активностью по отношению к диметилформамиду в присутствии капролактама в исследуемом интервале концентраций обладает образец АГ-ОВ-1.

Ключевые слова: адсорбция, активные угли, водные растворы диметилформамида и капролактама.**ADSORPTION OF DIMETHYLFORMAMIDE AND CAPROLACTAM BY ACTIVE CARBONS
IN THEIR JOINT PRESENCE**

Research article

Solovyeva Yu.V.^{1,*}, Yustratov V.P.², Vasilyeva I.V.³, Golubeva N.S.⁴^{1,3} Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russia;^{2,4} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

* Corresponding author (sol.j[at]mail.ru)

Abstract

The current article examines the adsorption process of dimethylformamide and caprolactam in their combined presence. As adsorbents, industrial activated carbons of the AG-OV-1, SKD-515 and AG-5 types (JSC "Sorbent", Perm) were used, which differ in raw materials, the method of production, and adsorption properties. The main changes in the surface of activated carbons caused by the adsorption of dimethylformamide and caprolactam were determined via porometry and X-ray spectroscopy. The study establishes the features, regularities and mechanism of adsorption of dimethylformamide and caprolactam in their joint presence from aqueous solutions with industrial activated carbons. The presence of caprolactam in the dimethylformamide solution leads to a significant disturbance of the structure of the aqueous medium and significant changes in the adsorption isotherms. The AG-OV-1 sample demonstrates the highest adsorption activity in relation to dimethylformamide in the presence of caprolactam in the concentration range under study.

Keywords: adsorption, active carbons, aqueous solutions of dimethylformamide and caprolactam.**Введение**

Выявление адсорбционных особенностей смеси веществ, имеющих влияние на дальний порядок молекул воды представляет научный интерес. Молекула диметилформамида (ДМФА) содержит амидную группу, способную к образованию водородных связей. ДМФА смешивается с большинством органических растворителей за исключением углеводородов, является полярным апротонным растворителем с высокой точкой кипения. Размеры, определенные по максимальным проекциям Ван-дер-Ваальса 0,6 нм²[1].

Капролактама (КЛ) имеет дифильное строение, молекула капролактама представляет собой семичленный гетероцикл, состоящий из пятизвенной метиленовой цепочки и, связанных с ней иминно - и карбонильных групп, которые образуют амидную связь[1].

Ранее в работах было показано, что индивидуальные растворы ДМФА и КЛ имеют влияние на коэффициент стабилизации полимер-гидратного комплекса, что отражается влиянием на дальний порядок и водородные связи между молекулами воды [1].

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование поверхностных функциональных групп активных углей и теоретическое обоснование основного механизма адсорбции активными углями диметилформамида в присутствии капролактама.

Активные угли в силу развитой пористой структуры и особенностей химического состояния поверхности занимают ведущее место среди адсорбентов[2].

Методы и принципы исследования

Объектом исследования являлись водные растворы капролактама с концентрацией 0,1г/дм³ и диметилформамида 0,01-2 г/дм³. В качестве сорбента использовали отечественные промышленные активные угли (АУ) марок АГ-ОВ-1, СКД-515 и АГ-5 (АО «Сорбент» г. Пермь), которые отличаются сырьем, способом получения и адсорбционными свойствами.

Для выяснения особенностей поверхности активных углей, определяющих эффективность адсорбции, были проведены исследования состояния поверхности порометрией, РФС-спектроскопией и индикаторным методом.

Характеристики пористой структуры адсорбентов исследовались по адсорбции азота на установке ASAP 2400 фирмы «Micromeritics». Параметры пористой структуры представлены в табл. 1

Индикаторный метод исследования кислотности и основности поверхности твердых тел позволяет получать спектры распределения донорно-акцепторных центров. Метод цветowych индикаторов основан на том, что адсорбируясь, индикатор может изменять окраску, которая является мерой кислотности, (основности) поверхности [3].

Данные индикаторного метода представлены в таблице 2.

Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии исследовали объемное содержание азота и основные азотсодержащие группы (CN, NCO, NO). Метод представляет собой современную модификацию классического метода определения углерода, водорода и азота по Дюма-Преглю. Работа проводилась в камере спектрометра VG ESCALAB (Великобритания).

Данные РФС-спектроскопии представлены на рис.1.

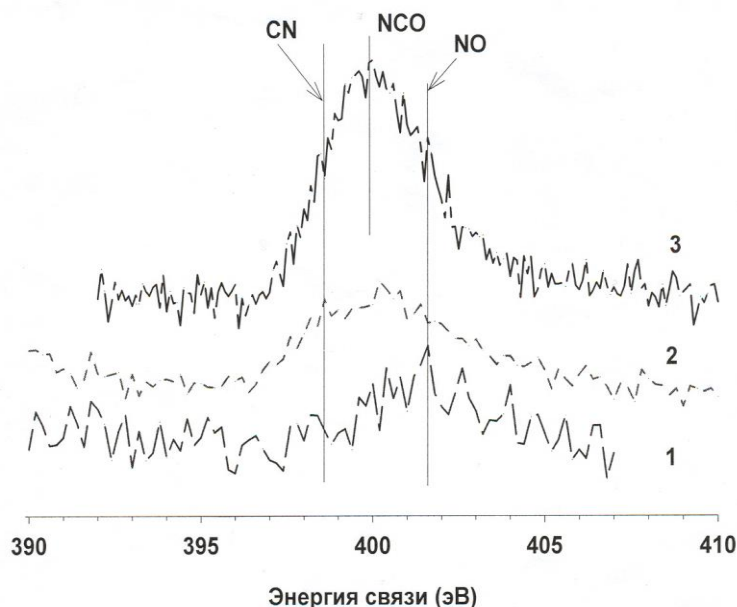


Рис. 1 – Данные РФС-спектра исходного активного угля:

1 – АГ-ОВ-1; 2 – и с адсорбированным капролактамом; 3 – и диметилформамидом

Процесс адсорбции активными углями в статических условиях изучали по стандартной методике. Величина избыточной адсорбции Гиббса рассчитывалась по формуле:

$$\Gamma = [(C - C_p)V]/m$$

где Γ – избыточная адсорбция Гиббса, моль/г; C – исходная концентрация вещества, моль/дм³; C_p – равновесная концентрация вещества моль/дм³; V – объем исследуемого раствора, дм³; m – масса навески адсорбента, г.

Для исследования изотерм адсорбции при совместном присутствии приготовленные растворы затем разбавили в 10 – 2 раза.

Концентрацию диметилформамида и капролактама в растворах определяли по стандартной методике на приборе СФ - 46.

Основные результаты и их обсуждение

Исследование пористой структуры поверхности активных углей до и после адсорбции диметилформамида и капролактама позволило выявить следующую закономерность: после адсорбции (АГ-ОВ-1_{адс}, АГ-5_{адс}, СКД-515_{адс}) общая удельная поверхность ($S_{БЭТ}$, м²/г) всех образцов уменьшилась в среднем на 30%, а поверхность микропор ($S_{микро}$, м²/г) в 2 раза, кроме того также уменьшился общий объем пор (V_s , см³/г) в среднем на 30%, объем микропор ($V_{микро}$, см³/г) на 50 %. Но в тоже время практически не изменился объем мезопор, что позволяет предположить, что адсорбция идет по объемному механизму в микропорах.

Таблица 1 – Параметры пористой структуры

Образец	$S_{БЭТ}$, м ² /г	$S_{микро}$, м ² /г	V_s , см ³ /г	$V_{микро}$, см ³ /г	$V_{мезо}$, см ³ /г
АГ-ОВ-1	682	369	0,459	0,218	0,241
АГ-5	925	554	0,6	0,47	0,13
СКД-515	791	404	0,561	0,359	0,202
АГ-ОВ-1 _{адс}	532	278	0,332	0,155	0,177
АГ-5 _{адс}	507	383	0,303	0,145	0,158
СКД-515 _{адс}	632	271	0,336	0,156	0,18

Результаты исследования поверхности адсорбентов индикаторным методом представлены табл. 2

Таблица 2 – Распределение активных центров на поверхности активных углей: АГ-ОВ-1; АГ-ОВ-1_{адс}.

рКа	q относительное содержание функциональных групп , ммоль/г	
	АГ-ОВ-1	АГ-ОВ-1 _{адс}
0,29	0,0180	0,0180
0,8	0,0031	0,0035
1,1	0,0082	0,0100
1,3	0	0
2,1	0,0069	0
2,5	0,0250	0,0240
3,46	0	0,004
4,1	0,0024	0
4,9	0,0051	0
5,5	0	0,0051
6,4	0,0094	0,0027
7,1	0,0340	0,0056
7,3	0,0005	0,0100
8,0	0,0390	0,0212
8,8	0,0130	0,0081
10,5	0,0008	0,0091
12,0	0,0036	0,0021
12,8	0,0025	0,0051

Из представленных результатов следует, что адсорбция диметилформамида и капролактама приводит к изменению соотношения кислотных и основных групп на поверхности. На исходном активном угле присутствует некоторое количество сильнокислотных групп, которые можно определить как карбоксильные группы, а также некоторое количество слабокислотных групп, которые согласно определению по методике Бёма, соответствуют лактонам, отмечено незначительное количество фенольных групп. Адсорбция диметилформамида и капролактама приводит к резкому снижению количества сильнокислотных или карбоксильных групп, вероятно процесс адсорбции капролактама и диметилформамида идет на карбоксильных группах. Отмечено присутствие слабокислотных групп, данные РФС- спектроскопии позволяют определить данные групп, как цианидные и амидные группы, а также сильноосновных групп в данном случае вероятно, проявляются основные свойства гетероциклов, содержащих азот.

По результатам рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии было отмечено, что в отличие от исходного активного угля во всех углях с адсорбатом присутствуют азотсодержащие группы CN, NCO, NO, что согласуется с данными индикаторного метода. При этом необходимо отметить их рост в образце 3- адсорбция капролактама и диметилформамида.

Сравнительные адсорбционные исследования проводили на индивидуальных растворах ДМФА и в присутствии КЛ. Полученные результаты представлены на рис.1,2.

Процесс адсорбции диметилформамида активными углями был исследован на модельных растворах с концентрацией 0,01-2 г/дм³. В качестве адсорбента были взяты активные угли марок АГ-ОВ-1, АГ-5, СКД-515. На основе полученных экспериментальных данных были построены изотермы избыточной адсорбции рис.2

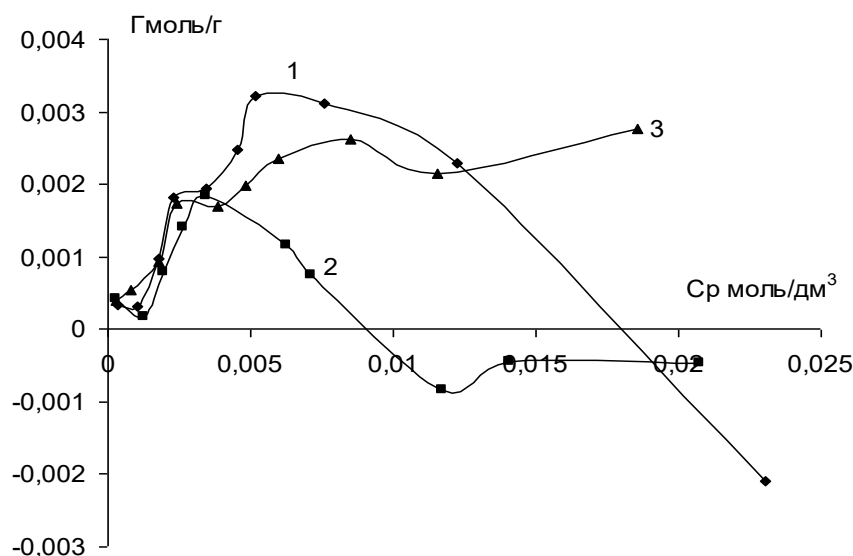


Рис. 2 – Изотермы адсорбции ДМФА активными углями:
1 – АГ-5; 2 – СКД-515; 3 – АГ-ОВ-1

Изотермы избыточной адсорбции Гиббса всех исследуемых образцов до значений концентраций 0,002 моль/дм³ соответствуют изотермам L₄-типу по классификации Гильса [1]. При повышении содержания ДМФА в растворе для углей АГ-5 и СКД-515 тип изотермы меняется на L₅-тип, а при концентрациях выше 0,008 моль/дм³ и 0,018 моль/дм³ отмечены отрицательные значения адсорбции ДМФА этими образцами, что вероятно связано с усиленным гидролизом ДМФА [4]. Для угля АГ-ОВ-1 форма изотермы не меняется на протяжении всего исследуемого интервала концентраций. Из рисунка 2 видно, что наибольшей адсорбционной активностью по отношению к ДМФА до значений концентраций 0,012 моль/дм³ обладает образец АГ-5, затем в интервале концентраций 0,012-0,02 моль/дм³ уголь АГ-ОВ-1. Для обработки полученных результатов в области положительных значений адсорбции (интервал концентраций 0,001-0,01 моль/дм³), всех представленных углей, использовались уравнения полимолекулярной адсорбции (Дубинина-Радушкевича), так как оно по предварительным расчетам наиболее полно описывает данные адсорбционные взаимодействия [5], [6].

Параметры, рассчитанные по уравнениям, представлены в табл.3.

Таблица 3 – Параметры адсорбции по уравнению Дубинина – Радушкевича

Сорбент	Г ₀ , ммоль/г	W ₀ , см ³ /г	Е, кДж/моль	χ, нм
АГ-ОВ-1	2,5	0,07	21,3	0,56
АГ-5	3,5	0,08	20,1	0,58
СКД-515	1,27	0,06	22,0	0,56

Рассчитанные значения предельного адсорбционного объема (W₀) и полуширины щелевидных пор (χ), свидетельствуют о том, что основным механизмом является дисперсионное взаимодействие в доступных по размерам микропорах. Наибольшую адсорбционную активность по отношению к ДМФА показал образец АГ-5, что согласуется с данными параметров пористой структуры.

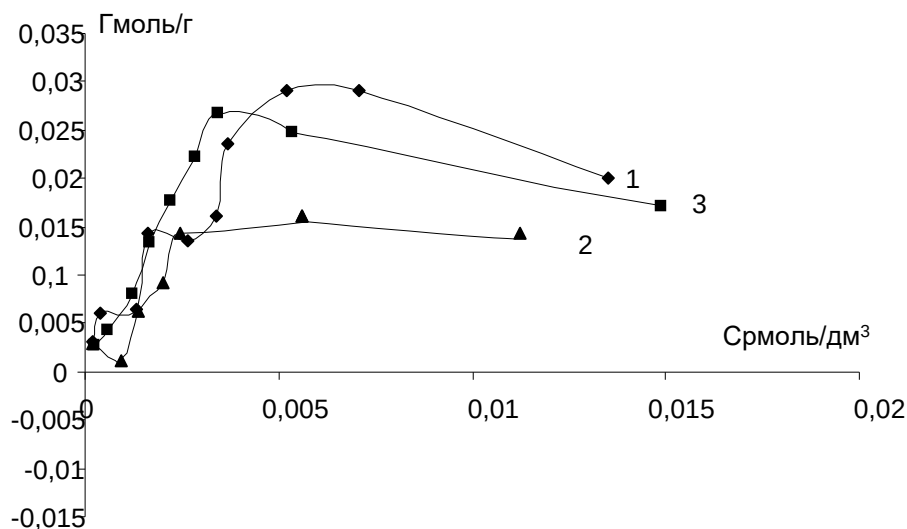


Рис. 3 – Изотермы адсорбции диметилформамида в присутствии капролактама:
1 – АГ-ОВ-1; 2 – СКД-515; 3 – АГ-5

Ранее [1] было сказано, что ДМФА относится к веществам, влияющим на дальний порядок полярного растворителя. Возмущение водной среды с последующим влиянием на гидратную оболочку при введении диметилформамида можно уже обнаружить при весьма его малой концентрации (0,01 моль/дм³) (спектрофотометрический метод измерения позволяет различить плотность раствора, когда изменения температуры системы составляет 0,1° С), когда на одну молекулу ДМФА приходится в среднем до 5000 молекул воды. Влияние молекулы ДМФА на гидратный комплекс может усиливаться только в результате разрушения крупных ассоциатов из молекул воды, приводящих к увеличению числа более мелких ассоциатов с протоно-донорной функцией. На начальном этапе, при низких концентрациях до значений 0,1 моль/дм³, гидратные оболочки молекул ДМФА небольшие адсорбция происходит в микропорах, угли АГ-5 и СКД-515 характеризуются большим объемом микропор по сравнению с АГ-ОВ-1 (табл.1), поэтому угли проявляют большую адсорбционную активность по сравнению с образцом АГ-ОВ-1 [7], [8]. При увеличении концентрации ДМФА в растворе происходит значительное увеличение его гидратной оболочки, эффективные радиусы становятся больше и молекула уже не способна в значительном количестве адсорбироваться в микропорах, адсорбция происходит в основном в мезопорах. При этом угли АГ-5 и СКД-515 с низкими значениями объема мезопор (табл.1) показывают отрицательные значения адсорбции, а уголь АГ-ОВ-1 положительные.

Присутствие КЛ в растворе ДМФА привело к значительным изменениям изотерм адсорбции образцов (рис.3). Происходит снижение адсорбции ДМФА в случае угля АГ-5 на 18%, а в случае СКД-515 на 15%. Необходимо отметить, что присутствие КЛ практически изменяет изотермы на участках с концентрацией раствора выше 0,005 моль/дм³ процесс адсорбции ДМФА на углях достигает равновесных насыщенных значений. Введение амидов приводит к значительному нарушению структуры водной среды, известно, что капролактамы вызывает наибольший эффект [9], [10].

Из рисунка видно, что наибольшей адсорбционной активностью по отношению к ДМФА в присутствии КЛ в исследуемом интервале обладает образец АГ-ОВ-1.

Заключение

Методами порометрии, РФС-спектроскопии и индикаторным определены основные изменения, вызванные адсорбцией диметилформамида и капролактама. Необходимо отметить рост азотсодержащих CN, NCO, NO поверхностных функциональных групп и незначительное снижение пористости.

Экспериментально и теоретически выявлены особенности механизма адсорбции диметилформамида в присутствии капролактама из водных растворов. Получены основные адсорбционные параметры. Проведенная работа показала, что адсорбция ДМФА зависит от структуры и природы активных углей. Для адсорбции ДМФА в присутствии КЛ характерно при низких концентрациях дисперсионное взаимодействие в микропорах за счет Ван-дер-ваальсовых сил, при высоких концентрациях преобладает специфическое взаимодействие в мезопорах с кислородсодержащими поверхностными функциональными группами.

Показана принципиальная возможность адсорбционного извлечения капролактама и диметилформамида из водных сред.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Фенелонов В.Б. Пористый углерод / В.Б. Фенелонов. Новосибирск: Институт катализа, 1995. 518 с.
2. Кирш Ю.Э. Полимерные мембраны как химически гетерогенные каналные наноструктуры / Ю.Э. Кирш, С.Ф. Тимашев. Москва: МГУ, 2010. 123 с.
3. Минакова Т.С. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел / Т.С. Минакова: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2007. – 284с.
4. Соловьева Ю.В. Адсорбционное извлечение диметилформамида из водных растворов / Ю.В.Соловьева, Т.А. Краснова, Н.В. Соловьев и др. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2014. №4. С. 17-25.
5. Corwin, C.J. Adsorption and desorption of trace organic contaminants from granular activated carbon adsorbents after intermittent loading and throughout backwash cycles / C.J. Corwin, Scott Summers // Water research. – 2011.-2. – P. 417-426
6. Марутовский Р.М. Массопередача многокомпонентных смесей в системе жидкость – твердое тело / Р.М. Марутовский // Химия и технология воды, 1986. - Т. 8. - № 3. - С. 3 - 14.
7. Azizian S. Kinetic model of sorption a theoretical analysis / S. Azizian // J. Coll. Inter. Sci. 2004. 276. P. 47-62.
8. Hu Z. Carbon / Z. Hu, M.D.Srinivasan, Z.Nu. 2001. V.39 №6. P. 877-886.
9. Астракова Т.В. Механизм адсорбции капролактама на углеродных сорбентах / Т.В. Астракова, З.Р. Исмагилов // Журнал физической химии. 2014.-№11(88).- С.1834-1839
10. Астракова Т.В. Особенности взаимодействия капролактама с поверхностью активных углей / Т.В. Астракова, В.П. Юстратов, Ю.В. Соловьева // Журнал физической химии. 2006.-№6(80).- С.1060-1066

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fenelonov V.B. Poristy uglerod [Porous carbon] / V.B. Fenelonov. Novosibirsk: Institute of Catalysis, 1995. 518 p. [in Russian]
2. Kirsh Yu.E. Polimernye membrany kak himicheski geterogennye kanal'nye nanostrukturny [Polymer membranes as chemically heterogeneous channel nanostructures] / Yu.E. Kirsh, S.F. Timashev. Moscow: Moscow State University, 2010. 123 p. [in Russian]
3. Minakova T.S. Adsorbtsionnye processy na poverhnosti tverdykh tel [Adsorption processes on the surface of solids] / T.S. Minakova: Textbook. - Tomsk: Tomsk Publishing House.unv-ta, 2007.-284 p. [in Russian]
4. Solovyova Yu.V. Adsorbtsionnoe izvlechenie dimetilformamida iz vodnykh rastvorov [Adsorption extraction of dimethylformamide from aqueous solutions] / Yu.V. Solovyova, T.A. Krasnova, N.V. Soloviev et al. // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research]. 2014. No.4. pp. 17-25. [in Russian]
5. Corwin, C.J. Adsorption and desorption of trace organic contaminants from granular activated carbon adsorbents after intermittent loading and throughout backwash cycles / C.J. Corwin, Scott Summers // Water research. - 2011.-2. - P. 417-426.
6. Marutovsky R.M. Massoperedacha mnogokomponentnykh smesey v sisteme zhidkost' – tverdoe telo [Mass transfer of multicomponent mixtures in a liquid-solid system] / R.M. Marutovsky // Himiya i tehnologiya vody [Chemistry and technology of water], 1986. - Vol. 8. - No. 3. - pp. 3-14. [in Russian]
7. Azizian S. Kinetic model of sorption a theoretical analysis / S. Azizian // J. Coll. Inter. Sci. 2004. 276. P. 47-62.
8. Hu Z. Carbon / Z. Hu, M. D. Srinivasan, Z. Nu. 2001. V. 39, no. 6. P. 877-886.
9. Ostrakova T. V. Mehanizm adsorbtsii kaprolaktama na uglerodnykh sorbentah [the adsorption Mechanism of caprolactam carbon sorbents] / T. V. Astrakova, Z. R. Ismagilov // Zhurnal fizicheskoy himii [Journal of physical chemistry]. 2014.-№11(88).- Pp.1834-1839 [in Russian]
10. Astrakova T.V. Osobennosti vzaimodejstviya kaprolaktama s poverhnost'ju aktivnykh uglej [Features of the interaction of caprolactam with the surface of active coals] / T.V. Astrakova, V.P. Yustratov, Yu.V. Solovyova // Zhurnal fizicheskoy himii [Journal of Physical Chemistry]. 2006.-№6(80). - Pp.1060-1066 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.022>**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИМЕТИЛАМИНА В ВОДНЫХ ИСТОЧНИКАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА
МЕТОДОМ ВЭЖХ**

Научная статья

Федорова Н.Е.¹, Ивченкова А.А.², Бондарева Л.Г.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0001-8278-6382;² ORCID: 0000-0003-1342-1536;³ ORCID: 0000-0002-1482-6319;^{1, 2, 3} Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора, Мытищи, Россия

* Корреспондирующий автор (bondarevalg[at]fferisman.ru)

Аннотация

На основании собственных и опубликованных ранее информации, разработан высокоэффективный метод определения концентрации вторичного алифатического амина - диметиламина в воде различного генезиса. Метод жидкостной хроматографией с флуориметрическим детектором, с предварительной дериватизацией проб воды, позволяет с высокой селективностью определять диметиламин в воде, что было подтверждено на модельных системах с внесением различных концентраций диметиламина в диапазоне от 0,005 до 0,1 мг/л. Это вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемые действующими нормативными документами Российской Федерации. Метод продемонстрировал высокую эффективность ~ 97 %, при суммарной погрешности методики измерения концентраций диметиламина в воде методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с FLD не более 25 %.

Ключевые слова: диметиламин, вода, высокоэффективная жидкостная хроматография, флуориметрический детектор.

DETERMINING DIMETHYLAMINE IN WATER SOURCES OF VARIOUS GENESIS VIA HPLC

Research article

Fedorova N.E.¹, Ivchenkova A.A.², Bondareva L.G.^{3,*}¹ ORCID: 0000-0001-8278-6382;² ORCID: 0000-0003-1342-1536;³ ORCID: 0000-0002-1482-6319;^{1, 2, 3} F. F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of Rospotrebnadzor, Mytishchi, Russia

* Corresponding author (bondarevalg[at]fferisman.ru)

Abstract

Based on the authors' own previously published information, the article introduces a highly effective method for determining the concentration of secondary aliphatic amine - dimethylamine in water of various genesis. The method of liquid chromatography with a fluorometric detector, with preliminary derivatization of water samples, allows for determining dimethylamine in water with high selectivity, which was confirmed on model systems with the introduction of various concentrations of dimethylamine in the range from 0.005 to 0.1 mg/l. This fully meets the requirements imposed by the current regulatory documents of the Russian Federation. The method demonstrated high efficiency of ~ 97 %, with a total error of the method for measuring dimethylamine concentrations in water by high-performance liquid chromatography with FLD of no more than 25 %.

Keywords: dimethylamine, water, high-performance liquid chromatography, fluorimetric detector.

Введение

Алифатические амины являются распространёнными составляющими растворенных органических веществ и присутствуют в повышенных концентрациях в водах различного генезиса, особенно загрязненных стоками. Короткоцепочечные алифатические амины повсеместно встречаются в водных средах из-за их широкого применения в химической и фармацевтической промышленности. Кроме того, алифатические амины являются распространенными компонентами биологических систем в качестве продуктов разложения органических материалов, таких как аминокислоты и белки [1], [2], [3]. Из-за высокой реакционной способности реакции алифатических аминов с озоном могут происходить во время озонирования воды и очистки сточных вод. В литературе описаны исследования кинетики и механизмов реакций озона с этиламино, диметиламино и триэтиламино, как модельными азотистыми соединениями [4]. Анализ показал, что все амины превращались в продукты, содержащие связь азот-кислород (например, N-оксид триэтиламина, нитроэтан, нитрозоамин) с химическим выходом в диапазоне от 64-100 % по отношению к исходным аминам. Было сделано заключение о том, что при озонировании воды, содержащей высокие уровни растворенного органического азота, образуются нитро- и нитрозо- алканы [4]. Также алкиламины могут реагировать с определенными азотсодержащими соединениями, также с образованием нитрозоаминов, которые являются канцерогенами.

Помимо проблем гигиены, из-за резкого запаха указанные соединения представляют опасность для жизни человека, поскольку являются раздражителями кожи, глаз, слизистой оболочки и дыхательных путей.

В качестве представителя вторичных алкиламинов, диметиламин широко применяется в разных областях промышленности: в синтезе инсектицидов, гербицидов, моющих средств, растворителей и лекарственных средств. Служит сырьём для производства гептила – ракетного топлива. Использовался в производстве химического оружия (табуна). Кроме того, диметиламин, как и другие вторичные амины, являются продуктами биodeградации целого ряда поверхностно-активных веществ в условиях окружающей среды [5], [6].

Содержание ряда органических аминов нормировано в питьевой воде централизованных систем питьевого водоснабжения согласно санитарным нормам [7] и в водных объектах рыбохозяйственного значения [8]. Так, например, содержание диметиламина в питьевой воде – 0,1 мг/л [7], в воде рыбохозяйственного значения – 0,005 мг/л [8].

Для определения алифатических аминов в воде, как правило, используют хроматографические методы. В частности, описан ряд методик определения аминов с помощью газовой (ГХ) [9], [10] и жидкостной хроматографии (ЖХ) [11], [12] и др. Две из которых входят в реестр методик, используемых службами Роспотребнадзора [13] и [14]. Однако же, данные методики не удовлетворяют современные требования по чувствительности, селективности, точности определения.

С учетом выше сказанного, возникла необходимость в разработке принципиально нового метода определения диметиламина, как представителя алифатических аминов в воде, отобранной в ряде водных источников, в том числе и центрального водоснабжения.

Принцип отбора и подготовка образцов воды к анализу

Воду поверхностных водоемов и из системы центрального водоснабжения отбирали в стеклянные бутылки емкостью 0,5 л. Отобранные пробы рекомендуется хранить и транспортировать при температуре не более 10 °С. В лаборатории пробы должны храниться в холодильнике при температуре (2-6) °С не более 3 дней.

Непосредственно перед анализом воду перемешивали в бутылках, в которых вода хранилась. Необходимый для каждого анализа объем воды пропускают через шприцевой мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм.

Результаты и их обсуждение

В качестве методов пробоподготовки используют жидкостно-жидкостную экстракцию [15], [16], твердофазную экстракцию [17], [18], ион-парную экстракцию [19] и т.д. Большинство указанных методов длительны и требуют использования значительных объемов дорогостоящих и токсичных реагентов [20].

Ранее специалистами ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора была разработана методика по определению глифосата в пробах воды и почвы методом жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. В разработанной методике образцы воды очищали на патронах для твердофазной экстракции, а затем дериватизируют с использованием 0,01 М раствора 9-флуоренилметилхлороформата (ФМОС) в среде боратного буфера с последующей очисткой толуолом. Данная методика показала эффективность применения дериватизации для определения аминов. Однако, диметиламин обладает малой молекулярной массой, что делает затруднительным его определение с помощью масс-детектора.

Поэтому мы решили пойти по другому пути. Предлагается следующая, как наиболее эффективная схема подготовки пробы воды для определения диметиламина. Отфильтрованная через мембранный фильтр проба воды подвергается дериватизации раствором 9-флуоренилметилхлорформиата в среде тетрабората натрия.

В ходе проведенных исследований изучалось влияние температуры на прохождение стадии дериватизации. Реакцию проводили при 50 °С и комнатной температуре. Выяснилось, что температурный режим не оказывает влияние на полноту протекания данной реакции – площадь пика диметиламина оставалась без изменений.

Для остановки дериватизации в смесь добавляли ледяную уксусную кислоту и затем реализовывали стадию отмывки от избытка дериватизирующей смеси. Для этого исследовали применение толуола и гексана. В наших экспериментах толуол давал устойчивые мутные не расслаивающиеся растворы, что требовало дополнительной стадии фильтрации и влекло потерю целевого компонента. Таких проблем не наблюдалось при использовании гексана, и он был выбран в качестве экстрагента.

Таким образом, была разработана следующая схема подготовки проб воды при определении остаточных количеств диметиламина: в стеклянную пробирку с притертой пробкой на 5 мл помещали 0,4 мл отфильтрованной пробы воды. Добавляли 0,5 мл 0,01 М раствора 9-флуоренилметилхлорформиата (ФМОС) и 0,5 мл 0,025 М раствора тетрабората натрия. Помещали пробирку на 10 минут на аппарат для встряхивания (вортекс). Затем добавляли 5 мкл ледяной уксусной кислоты, интенсивно встряхивали. После чего добавляли 2 мл гексана, помещали на аппарат для встряхивания (вортекс) на 3 минуты. После расслоения фаз верхний слой гексана удаляли пипеткой. Для анализа брали нижний слой.

Кроме того, рассматривался вопрос влияния состава подвижной фазы на формирование и деление пиков. Эксперимент показал, что при содержании в подвижной фазе 0,2% ортофосфорной кислоты необходимого разделения не происходит, тогда как при замене ортофосфорной кислоты на уксусную наблюдался четкий симметричный пик целевого соединения.

На основании проведенных экспериментов обоснованы следующие условия хроматографирования: Жидкостной хроматограф Agilent-1200 фирмы Agilent (США) с флуориметрическим детектором, колонка ZORBAX Eclipse XDB-C18 (150 мм х 4,6 мм х 5 мкм), подвижная фаза: ацетонитрил - 0,2% уксусная кислота (55:45, по объему); скорость потока элюента: 0,8 см³/мин; длина волны: возбуждение 264 нм; длина волны: эмиссия 313 нм; объем вводимой пробы: 20 мм³. Ориентировочное время выхода диметиламина: 10,9-11,0 мин (рис. 1). Линейный диапазон детектирования: 0,1-2 нг.

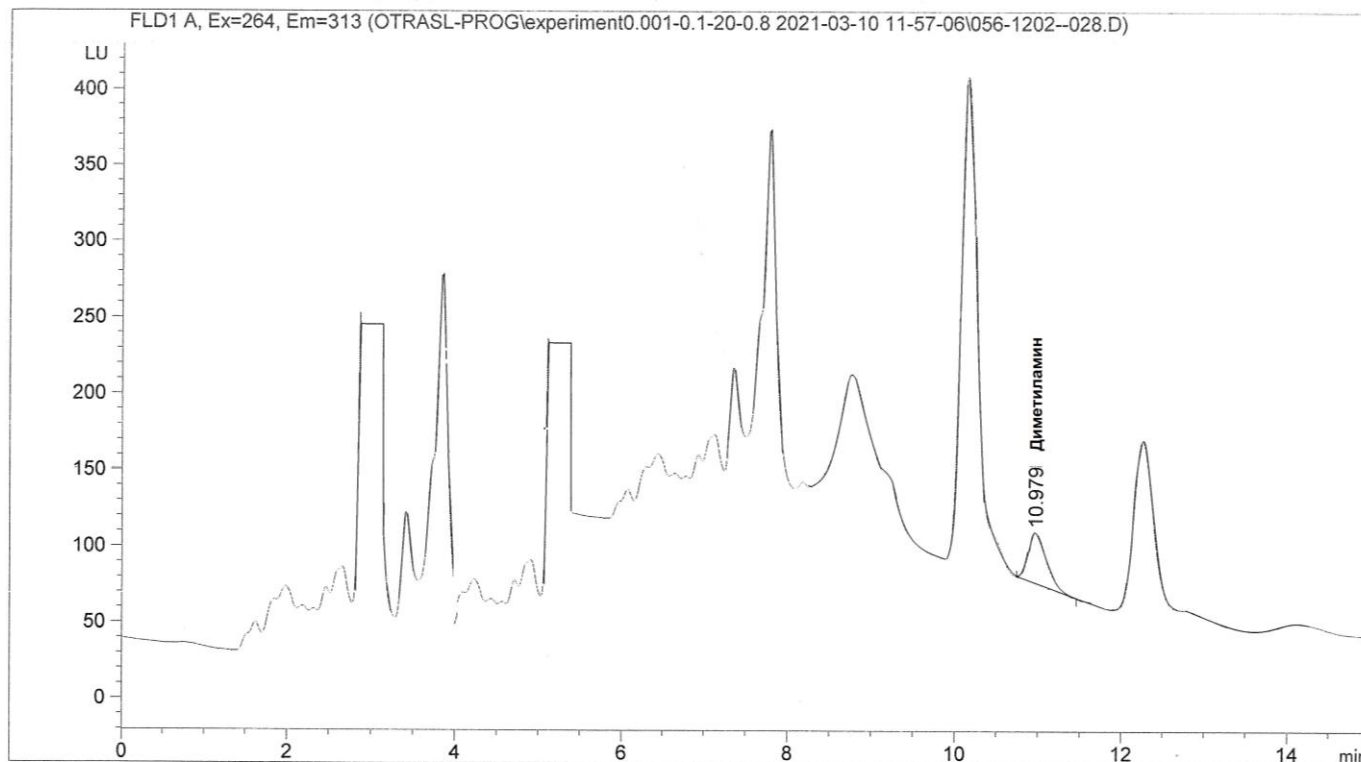


Рис. 1 – Хроматограмма стандартного раствора диметиламина с концентрацией 0,01 мкг/мл

Диапазон определяемой концентрации диметиламина в пробах воды составил - 0,005 – 0,1 мг/л, что удовлетворяет требованиям для питьевой воды централизованных систем питьевого водоснабжения [7] и для водных объектов рыбохозяйственного значения [8].

Разработанная методика опробована при анализе проб питьевой воды и модельных растворов.

Для оценки правильности результатов использовали способ введено–найдено. В анализируемые образцы воды вводили известные объемы стандартного раствора диметиламина (табл.1).

Таблица 1 – Результаты определения диметиламина в пробах водопроводной воды ($n = 5$, $P = 0.95$)

№	Внесено диметиламина, мг/дм ³	Найдено диметиламина, (C _{ср}) мг/дм ³ (%)	Стандартное отклонение, мг/дм ³
1	0,005	0,005464 (109,3)	$3,9 \cdot 10^{-4}$
2	0,01	0,010301 (103,0)	$7,07 \cdot 10^{-4}$
3	0,02	0,017265 (86,3)	$7,67 \cdot 10^{-4}$
4	0,1	0,089405 (89,4)	$1,64 \cdot 10^{-3}$

Примечание: $n = 5$, $P = 0,95$

Разработанный нами метод имеет хорошую эффективность – до 97 %. При этом суммарная погрешность методики измерения концентраций диметиламина в воде методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с FLD не превышала 25 %.

Заключение

Таким образом, разработан порядок применения метода высокоэффективной жидкостной хроматографии для определения в воде питьевой систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, в воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, в воде плавательных бассейнов и аквапарков массовой концентрации диметиламина в диапазоне 0,005 – 0,1 мг/дм³.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы «Обеспечение химической и биологической безопасности РФ на 2021-2024 г.».

Funding

This work was financially supported by the State Program of the Russian Federation "Ensuring the Chemical and Biological Safety of the Russian Federation for 2021-2024".

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Zhao Y.Y. Determination of aliphatic amines using N-succinimidyl benzoate as a new derivatization reagent in gas chromatography combined with solid phase microextraction / Zhao Y.Y., Cai L.S., Jing Z.Z. et al. // J. Chromatogr. A. - 2003. - V. 1021. - P. 175-183.
2. Psillakis E. Application of solvent microextraction to the analysis of nitroaromatic explosives in water samples / Psillakis E., Kalogerakis N. // J. Chromatogr. A. - 2001. - V. 907. - P. 211-218.
3. Belloli R. Determination of toxic nitrophenols in the atmosphere by high-performance liquid chromatography / Belloli R., Barlcatta B., Bolzacchini E. et al. // J. Chromatogr. A. - 1999. - V. 846. - P. 277-288.
4. Lim S. Reactions of aliphatic amines with ozone: Kinetics and mechanisms / Lim S., McArdell C. S., von Gunten U. // Water Res. - 2019. - 157. - P. 514-528.
5. García M. T. Effect of the alkyl chain length on the anaerobic biodegradability and toxicity of quaternary ammonium-based surfactants / García M. T., Campos E., Sanchez-Leal J. et al. // Chemosphere. 1999. - V. 38. - No 15. - P. 3473-3483.
6. Giolando S. T. Environmental fate and effects of DEEDMAC: a new rapidly biodegradable cationic surfactant for use in fabric softeners / Giolando S. T., Rapaport R. A., Larson R. J., et al. // Chemosphere. - 1995. - V. 30. - no. 6. - P. 1067-1083.
7. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021, № 2.
8. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ № 16326 Федерального агентства по рыболовству.
9. Luonga J. Ultra-trace level analysis of morpholine, cyclohexylamine, and diethylaminoethanol in steam condensate by gas chromatography with multi-mode inlet, and flame ionization detection / Luonga J., Shellie R.A., Cortesa H. et al. // J. Chromatogr. A. - 2012. - V. 1229. - P. 223-229.
10. Kataoka H. Derivatization reactions for the determination of amines by gas chromatography and their applications in environmental analysis / H. Kataoka // J. Chromatogr. A. - 1996. - V. 733. - P. 19-25.
11. Meseguer Lloret S. Sensitive determination of aliphatic amines in water by high-performance liquid chromatography with chemiluminescence detection / Meseguer Lloret S., Molins Legua C., Verdu Andres J. et al. // J. Chromatogr. A. - 2004. - V. 1035. - P. 75-80.
12. Sahasrabuddhey B. Determination of ammonia and aliphatic amines in environmental aqueous samples utilizing pre-column derivatization to their phenylthioureas and high-performance liquid chromatography / Sahasrabuddhey B., Archana Jain and Krishna K. Verma. // Analyst. - 1999. - 124. - P. 1017-1021.
13. МУК 4.1.1674-03. Измерение концентрации диметиламина в воде газохроматографическим методом. МинЗдрав России. - 2003.
14. МУК 4.1.008-13. Методика измерений массовой концентрации диметиламина в пробах питьевых, природных, очищенных сточных и талых (снег) вод фотометрическим методом. ФМБА. - 2018.
15. Weiss T. Simultaneous determination of various aromatic amines and metabolites of aromatic nitro compounds in urine for low level exposure using gas chromatography-mass spectrometry / Weiss T., Angerer J. // J. Chromatogr. B. - 2002. - V. 778. - P. 179-183.
16. Sarafraz Yazdi A. Liquid-liquid-liquid phase microextraction of aromatic amines in water using crown ethers by high-performance liquid chromatography with monolithic column / Sarafraz Yazdi A., Eshaghi Z. // Talanta. - 2005. - V. 66. - P. 664-670.
17. Meseguer Lloret S. Preconcentration and dansylation of aliphatic amines using C18 solid-phase packings: Application to the screening analysis in environmental water samples / Meseguer Lloret S., Molins Legua C., Campins Falco P. // J. Chromatogr. A. - 2002. - V. 978. - P. 59-63.
18. Abalos M. Development of a solid-phase microextraction GC-NPD procedure for the determination of free volatile amines in wastewater and sewage-polluted waters / Abalos M., Bayona J.M., Ventura F. // Anal. Chem. - 1999. - V. 71. - P. 3531-3541.
19. Akyuz M. Simultaneous determination of aliphatic and aromatic amines in water and sediment samples by ion-pair extraction and gas chromatography-mass spectrometry / Akyuz M., Ata S. // J. Chromatogr. A. - 2006. - V. 1129. - P. 88-92.
20. Rezaee M. Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction / Rezaee M., Assadi Y., Hosseini M.-R.M. et al. // J. Chromatogr. A. - 2006. - V. 1116. - P. 1-5.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhao Y.Y. Determination of aliphatic amines using N-succinimidyl benzoate as a new derivatization reagent in gas chromatography combined with solid phase microextraction / Zhao Y.Y., Cai L.S., Jing Z.Z. et al. // J. Chromatogr. A. - 2003. - V. 1021. - P. 175-183.
2. Psillakis E. Application of solvent microextraction to the analysis of nitroaromatic explosives in water samples / Psillakis E., Kalogerakis N. // J. Chromatogr. A. - 2001. - V. 907. - P. 211-218.
3. Belloli R. Determination of toxic nitrophenols in the atmosphere by high-performance liquid chromatography / Belloli R., Barlcatta B., Bolzacchini E. et al. // J. Chromatogr. A. - 1999. - V. 846. - P. 277-288.
4. Lim S. Reactions of aliphatic amines with ozone: Kinetics and mechanisms / Lim S., McArdell C. S., von Gunten U. // Water Res. - 2019. - 157. - P. 514-528.
5. García M. T. Effect of the alkyl chain length on the anaerobic biodegradability and toxicity of quaternary ammonium-based surfactants / García M. T., Campos E., Sanchez-Leal J. et al. // Chemosphere. 1999. - V. 38. - No 15. - P. 3473-3483.

6. Giolando S. T. Environmental fate and effects of DEEDMAC: a new rapidly biodegradable cationic surfactant for use in fabric softeners / Giolando S. T., Rapaport R. A., Larson R. J., et al. // *Chemosphere*. – 1995. – V. 30. – no. 6. – P. 1067–1083.

7. SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredy obitaniya» ["Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans"], approved by the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 01.28.2021, No. 2. [in Russian]

8. Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnyh ob'ektov rybohozjajstvennogo znachenija, v tom chisle normativov predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshhestv v vodah vodnyh ob'ektov rybohozjajstvennogo znachenija [On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water bodies of fishery significance]. Order No. 16326 of the Federal Agency for Fisheries. [in Russian]

9. Luonga J. Ultra-trace level analysis of morpholine, cyclohexylamine, and diethylaminoethanol in steam condensate by gas chromatography with multi-mode inlet, and flame ionization detection / Luonga J., Shellie R.A., Cortesa H. et al. // *J. Chromatogr. A*. - 2012. - V. 1229. - P. 223-229.

10. Kataoka H. Derivatization reactions for the determination of amines by gas chromatography and their applications in environmental analysis / H. Kataoka // *J. Chromatogr. A*. - 1996. - V. 733. - P. 19-25.

11. Meseguer Lloret S. Sensitive determination of aliphatic amines in water by high-performance liquid chromatography with chemiluminescence detection / Meseguer Lloret S., Molins Legua C., Verdu Andres J. et al. // *J. Chromatogr. A*. - 2004. - V. 1035. - P. 75-80.

12. Sahasrabuddhey B. Determination of ammonia and aliphatic amines in environmental aqueous samples utilizing pre-column derivatization to their phenylthioureas and high-performance liquid chromatography / Sahasrabuddhey B., Archana Jain and Krishna K. Verma. // *Analyst*. - 1999. - 124. - P. 1017-1021.

13. MUK 4.1.1674-03. Izmerenie koncentracii dimetilamina v vode gazohromatograficheskim metodom [Measurement of the concentration of dimethylamine in water by gas chromatography]. Ministry of Health of Russia. - 2003. [in Russian]

14. MUK 4.1.008-13. Metodika izmerenij massovoj koncentracii dimetilamina v probah pit'evykh, prirodnykh, ochishhennykh stochnykh i talyh (sneg) vod fotometricheskimi metodami [Methods for measuring the mass concentration of dimethylamine in samples of drinking, natural, purified waste and melt (snow) waters by the photometric method]. FMBA. - 2018. [in Russian]

15. Weiss T. Simultaneous determination of various aromatic amines and metabolites of aromatic nitro compounds in urine for low level exposure using gas chromatography-mass spectrometry / Weiss T., Angerer J. // *J. Chromatogr. B*. - 2002. - V. 778. - P. 179-183.

16. Sarafraz Yazdi A. Liquid-liquid-liquid phase microextraction of aromatic amines in water using crown ethers by high-performance liquid chromatography with monolithic column / Sarafraz Yazdi A., Eshaghi Z. // *Talanta*. - 2005. - V. 66. - P. 664-670.

17. Meseguer Lloret S. Preconcentration and dansylation of aliphatic amines using C18 solid-phase packings: Application to the screening analysis in environmental water samples / Meseguer Lloret S., Molins Legua C., Campins Falco P. // *J. Chromatogr. A*. - 2002. - V. 978. - P. 59-63.

18. Abalos M. Development of a solid-phase microextraction GC-NPD procedure for the determination of free volatile amines in wastewater and sewage-polluted waters / Abalos M., Bayona J.M., Ventura F. // *Anal. Chem*. - 1999. - V. 71. - P. 3531-3541.

19. Akyuz M. Simultaneous determination of aliphatic and aromatic amines in water and sediment samples by ion-pair extraction and gas chromatography-mass spectrometry / Akyuz M., Ata S. // *J. Chromatogr. A*. - 2006. - V. 1129. - P. 88-92.

20. Rezaee M. Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction / Rezaee M., Assadi Y., Hosseini M.-R.M. et al. // *J. Chromatogr. A*. - 2006. - V. 1116. - P. 1-5.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.023>**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СТРАТЕГИЧЕСКАЯ КАРТА СОЦИАЛЬНО ОТВЕТСТВЕННОЙ
АПТЕЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Научная статья

Карева Н.Н.¹, Швецова В.Д.^{2,*}^{1,2} Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (valeryshvetsova2909[at]yandex.ru)

Аннотация

Изменения в политической, экономической и социальной среде вызывают необходимость пересмотра отношений между государством, обществом и бизнесом. Современный бизнес как общественный институт выходит за пределы своей отраслевой деятельности и принимает активное участие в решении социально значимых задач, тем самым оказывая влияние на процессы, протекающие в обществе. Социальная ответственность бизнеса – это объективный этап в поступательном развитии компаний, ответ на вызовы глобальной экономики, динамично изменяющейся внешней среды.

В зависимости от отрасли бизнеса социальная политика компаний проявляется по-разному, каждой отрасли присущи специфические формы социальной ответственности. Изучение становления и развития социальной ответственности возможно только при детальном рассмотрении каждой области в отдельности. С этой точки зрения малоизученной, но имеющей социальные и научные перспективы на данный момент, является сфера аптечного бизнеса.

Социальные факторы могут увеличивать и/или уменьшать эффективность бизнеса, приближать или отдалять его цели, что свидетельствует о необходимости рассмотрения социальной ответственности как объекта, другими словами, идеи социальной ответственности должны быть встроены в стратегию управления аптечных организаций. При таком понимании социальная ответственность становится мощным фактором стратегического развития, укрепления имиджа, деловой репутации и конкурентоспособности аптечной организации.

Ключевые слова: социальная ответственность бизнеса, нормативное регулирование, стратегическая карта управления социально ответственной аптечной организацией.

A CONCEPTUAL STRATEGIC MAP OF A SOCIALLY RESPONSIBLE PHARMACY ORGANIZATION

Research article

Kareva N.N.¹, Shvetsova V.D.^{2,*}^{1,2} Saint Petersburg State University of Chemistry and Pharmacy, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (valeryshvetsova2909[at]yandex.ru)

Abstract

Changes in the political, economic and social environment make it necessary to revise the relations between the state, society and business. Modern business as a public institution goes beyond its sectoral activities and takes an active part in solving socially significant tasks, thereby influencing the processes taking place in society. Social responsibility of business is an objective stage in the progressive development of companies, a response to the challenges of the global economy, a dynamically changing external environment.

Depending on the business sector, the social policy of companies manifests itself in different ways, each industry has specific forms of social responsibility. The study of the formation and development of social responsibility is possible only with a detailed examination of each area separately. From this point of view, the sphere of pharmacy business is poorly studied, but it has social and scientific prospects at the moment.

Social factors can increase and/or decrease the efficiency of a business, bring its goals closer or further away, which indicates the need to consider social responsibility as an object, in other words, the ideas of social responsibility should be embedded in the management strategy of pharmacy organizations. With this understanding in mind, social responsibility becomes a powerful factor in strategic development, strengthening the image, business reputation and competitiveness of a pharmacy organization.

Keywords: social responsibility of business, policy management, strategic management map of a socially responsible pharmacy organization.

Введение

Аптечный бизнес имеет непосредственное отношение к благосостоянию людей, к удовлетворению их материальных и интеллектуальных потребностей, к сокращению неравенства и искоренению безработицы. У аптечного бизнеса особая социальная миссия – лекарственное обеспечение населения, которое является неотъемлемой частью социальной политики государства. Аптечный бизнес является одним из важнейших, а также социально-значимых и социально ответственных в современной экономике.

В розничном секторе фармацевтического рынка одними из перспективных преимуществ в деятельности аптечных организаций могут стать проблемы приоритета социальных аспектов, их тенденций и пропорций развития.

До настоящего времени в российской фармацевтической науке и практике тема социальной ответственности практически не исследовалась. Впервые в нашей стране проблема социальной ответственности в сфере аптечного бизнеса поднималась в публикациях Н.Н. Каревой (2007 г., 2013 г.).

Методы и принципы исследования

Основным методом сбора и анализа информации в проведенном исследовании являлся контент-анализ материалов официальных сайтов аптечных сетей России. Практическим аргументом выбора интернет-ресурсов в качестве эмпирической базы исследования явилось стремление провести масштабный анализ особенностей развития социальной ответственности аптечных сетей с различными экономическими возможностями.

Основное содержание статьи

Анализ нормативной базы в области СОБ показал, что на международном уровне этими вопросами занимаются такие организации, как United Nations (Организация Объединенных Наций (ООН), Institute of Social and Ethical Accountability (Институт социальной и этической отчетности), International Organization for Standardization (ISO) (Международная организация по стандартизации), The International Labour Organization (ILO) (Международная организация труда), Social Accountability International (SAI) (Международная организация по социальной отчетности), Council on Economic Priorities Accreditation Agency (CEPAA) (Агентство по аккредитации Совета по экономическим приоритетам) и др.

Характеристика наиболее известных международных нормативных документов в области СОБ представлена в таблице 1 [1], [6], [14], [15].

Таблица 1 – Характеристика наиболее известных международных нормативных документов

Норматив	Год принятия	Разработчик	Описание
Глобальный договор ООН	2000	ООН	Описывает универсальные принципы в сфере прав человека, труда, окружающей среды и борьбы с коррупцией
Нормы ООН относительно обязанностей компаний в области прав человека	2003	ООН	Как сводный документ в области прав человека, содержит ряд соответствующих требований к компании
Рекомендации ОЭСР для ТНК	2000	Организация экономического сотрудничества и развития	Представляет собой международный всеобъемлющий кодекс корпоративного поведения
Документы МОТ	с 1940 по настоящее время	Международная организация труда	Отражают базовые общие принципы в сфере трудовых отношений
Руководство по отчетности устойчивого развития	2000	Глобальная инициатива по отчетности	Разработано при содействии ООН в рамках глобальной инициативы по отчетности
Стандарты отчетности серии AA1000	2003	Британский Институт социальной и этической отчетности	Позволяют на базе стандартов корпоративной социальной отчетности измерять социальную составляющую в бизнесе на основании совокупности критериев
Стандарт SA 8000	1997	Международная организация по социальной отчетности	Содержит показатели и методику аудита и сертификации фирмы в области трудовых отношений
Стандарт ISO 14001	1996	Международная организация по стандартизации	Регулирует деятельность организации в области охраны окружающей среды
Стандарт ISO 26000	2010	Международная организация по стандартизации	Стандарт выделяет основные темы СОБ, определяет принципы СОБ. Стандарт дополняет другие инструменты и инициативы в области СОБ, не заменяя их. Стандарт предназначен для использования не только бизнес-структурами, но и организациями других секторов, в т.ч. государственного и некоммерческого.

На национальном уровне разработкой нормативной базы по СОБ занимаются: Российский союз промышленников и предпринимателей (РСПП), Торгово-промышленная палата, Академия народного хозяйства, Ассоциация менеджеров России и др. Кроме этого, создан ряд общественных организаций – Центр деловой этики и корпоративного управления (Санкт-Петербург), Российская Ассоциация по связям с общественностью (РАСО), общественные организации малого

и среднего бизнеса – ОПОРА, Деловая Россия. Также при правительстве России функционирует Совет по конкурентоспособности и предпринимательству с целью разработки совместных проектов на основе взаимной ответственности и взаимного интереса.

Основные характеристики национальных нормативных документов в области СОБ представлены в таблице 2 [4], [6], [8], [9].

Таблица 2 – Характеристика национальных нормативных документов

Норматив	Год принятия	Разработчик	Описание
Социальная хартия российского бизнеса	2004	Российский союз промышленников и предпринимателей (РСПП)	Представляет собой свод основополагающих принципов деловой практики
Стандарт Торгово-промышленной палаты РФ «Социальная отчетность предприятий и организаций, зарегистрированных в Российской Федерации»	2006	Торгово-промышленная палата РФ	Основа на принципах, заложенных в международных документах: Стандартах серии AA1000 и Руководстве по отчетности устойчивого развития
Меморандум «О принципах корпоративной социальной ответственности»	2006	Ассоциация менеджеров России	Представляет собой перечень обязательств, которые бизнес добровольно принимает на себя (добровольная деловая практика, развитие персонала, безопасные условия труда, деятельность в сфере охраны окружающей среды, поощрение благотворительной деятельности и др.)
ГОСТ Р ИСО 26000 «Руководство по социальной ответственности»	2012	Международная организация по стандартизации, утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии	Формирует цели социальной ответственности, раскрывает преимущества, которое дает следование принципам социально ответственного поведения и характеризует семь основных направлений, на которых должна быть сосредоточена социально ответственная организация

Следует указать, что основным вектором государственной национальной политики в области СОБ является Национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 26000-2012 «Руководство по социальной ответственности». «Данный стандарт представляет руководство по введению социальной ответственности в практику работы организации» [4]. Национальный стандарт определяет основные семь тем СОБ: «Организационное управление», «Права человека», «Трудовые практики», «Окружающая среда», «Добросовестные деловые практики», «Взаимоотношения с потребителями», «Участие в жизни сообществ и их развитие». Другими словами, социально ответственная организация будет таковой являться, если в своей работе будет опираться на указанные темы.

В информационную базу исследования были включены ТОП 100 аптечных сетей России разной классификации, разного объема продаж и разного количества аптек [5]. Использована вторичная информация, то есть информация, указанная на официальных сайтах аптечных сетей.

Установлено, что не все аптечные сети имеют действующий официальный сайт: из 100 аптечных сетей только 80 аптечных сетей имеют официальный сайт (17 федеральных аптечных сетей, 24 – региональных, 39 – локальных аптечных сетей) (рисунок 1).

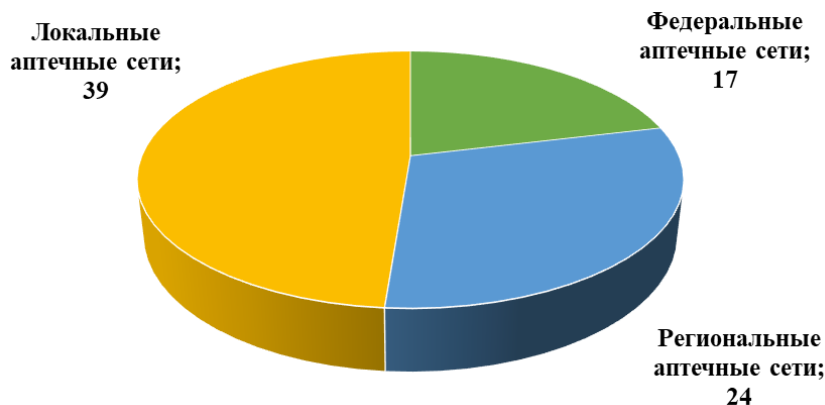


Рис. 1 – Количество официальных сайтов аптечных сетей

Установлено, что 76 аптечных сетей из 80 размещают информацию о СОБ (17 федеральных, 22 региональных, 37 локальных аптечных сетей). Не размещают информации о СОБ 4 аптечные сети (региональные аптечные сети «ФармЛига» (Кострома), «Наш Доктор» (Нижний Новгород); локальные аптечные сети «Доктор Алвик» (Челябинск), «Витафарм» (Москва).

Следует отметить, что информация о СОБ размещается аптечными сетями в разных разделах их официальных сайтов (например, таких, как «О компании», «О нас», «Социальная направленность» и др.).

В ходе исследования с целью определения, являются ли аптечные сети социально ответственными, был проведен анализ информации, размещенной на официальных сайтах лишь 76 аптечных сетей.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что по всем указанным темам СОБ не размещает информацию ни одна из исследуемых аптечных сетей; по шести темам СОБ информацию размещают 3 аптечные сети; по пяти темам информацию размещают 6 аптечных сетей; по четырем темам – 18 аптечных сетей; по трем – 20 аптечных сетей; по двум – 17 аптечных сетей; по одной теме – 12 аптечных сетей.

Таким образом, условно социально ответственными аптечными сетями можно назвать только 3 аптечные сети (региональная аптечная сеть «Монастырев.рф» (Владивосток), локальные аптечные сети «Губернские аптеки» (Красноярск) и «Пермфармация» (Пермь), которые размещают на официальных сайтах информацию о 6 (из 7) темах СОБ.

Кроме этого, в ходе анализа определено количество аптечных сетей, представляющих информацию конкретно по каждой из 7 тем (рисунок 2).

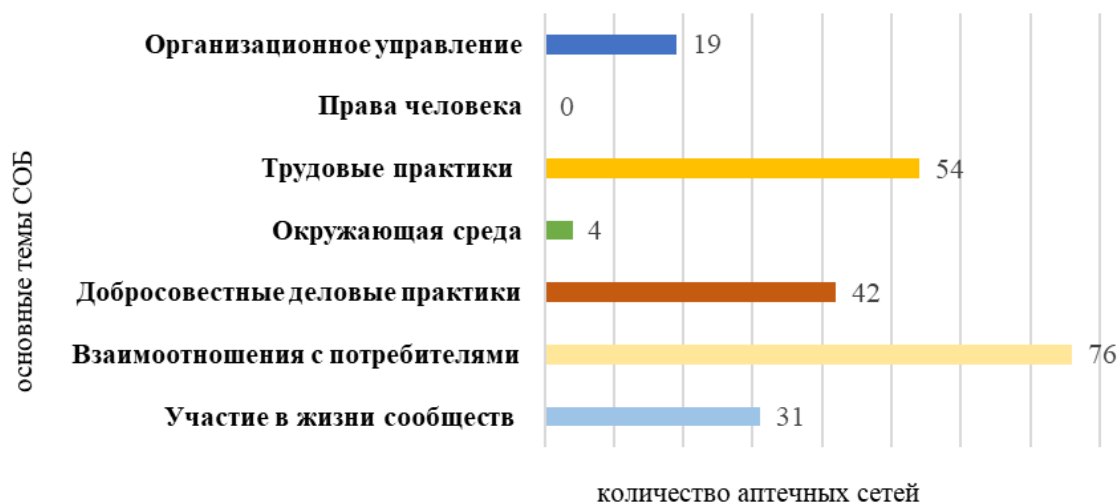


Рис. 2 – Количество аптечных сетей, размещающих информацию на официальных сайтах по каждой из 7 тем

Анализ показал, что по теме «Организационное управление» размещают информацию 19 из 76 аптечных сетей (25%) (5 – федеральных, 6 – региональных, 8 – локальных), из которых 12 аптечных сетей размещают на своих сайтах информацию о миссиях, целях, задачах и т.д. своей деятельности и 9 аптечных сетей позиционируют себя как социально ответственные.

По теме «Права человека» не размещает информацию ни одна из исследуемых аптечных сетей, однако, ГОСТ Р ИСО 26000-2012 рекомендует «рассматривать возможность публичного заявления, демонстрирующего, что организация не мирится с нарушением прав человека такими, как дискриминация в рамках трудовых отношений» [4].

По теме «Трудовые практики» размещают информацию 54 аптечные сети (71%) (12 федеральных, 14 – региональных и 28 локальных). Наибольшее количество размещений об обучении и повышении квалификации персонала (47 аптечных сетей); на втором месте – информация о предоставлении социального пакета и/или социальных гарантий (37 аптечных сетей), на третьем – информация о заработной плате (36 аптечных сетей). Установлено, что 12 локальных аптечных сетей публикуют документы в области охраны труда («Сводные ведомости результатов проведения специальной оценки условий труда», «Перечни рекомендуемых мероприятий по улучшению условий труда», «Политика в области охраны труда» и др.).

По теме «Окружающая среда» лишь 4 аптечные сети (5%) разместили на своем сайте информацию о деятельности организации в области охраны окружающей среды (1 – региональная и 3 локальные аптечные сети).

По теме «Добросовестные деловые практики» разместили информацию 42 аптечные сети (55%) (13 федеральных аптечных сетей, 10 – региональных и 19 локальных), из которых 36 аптечных сетей размещают на сайтах информацию о сотрудничестве с ведущими дистрибьюторами и производителями и/или прямом взаимодействии с производителями, 6 аптечных сетей разместили на сайтах нормативные документы в сфере противодействия коррупции.

Интересен тот факт, что по теме «Взаимоотношения с потребителями» размещают информацию все 76 аптечные сети (17 федеральных, 22 региональных, 37 локальных аптечных сетей). На сайтах 67 аптечных сетей размещена информация о предоставлении скидок, проведении акций, наличии программ для постоянных покупателей; на сайтах 64 аптечных сетей размещена информация о наличии широкого ассортимента товаров, 60 аптечных сетей разместили информацию о предоставлении качественных сертифицированных товаров и др. Таким образом, информация, представленная по этой теме, носит фрагментарный характер.

По теме «Участие в жизни сообществ и их развитие» размещают информацию 31 аптечная сеть (41%) (9 федеральных, 5 региональных, 17 локальных аптечных сетей). Выявлено разнообразие представленной информации: помощь детским учреждениям (школы, детские сады, ясли), программы помощи учреждениям здравоохранения; оказание помощи спортивным учреждениям; поддержка людей, нуждающихся в помощи, инвалидов, людей оказавшихся в трудной жизненной ситуации; помощь пожилым людям, в т.ч. финансирование пансионатов для престарелых; программы, направленные на поддержку ветеранов ВОВ; взаимодействие с ВУЗами; содействие сохранению культурно-исторического наследия; сотрудничество с общественными организациями, а также благотворительная деятельность.

Представленные результаты анализа свидетельствуют, что информация, размещенная на официальных сайтах аптечных сетей, не зависит от вида аптечной сети; не зависит от объемов продаж и количества аптек, входящих в аптечные сети; носит фрагментарный характер и др. Перечисленное говорит о недостаточной осведомленности руководителей аптечных сетей по теме СОБ.

С учетом вышеизложенного, используя теорию стратегического управления [2], нами была разработана примерная стратегическая карта социально ответственной аптечной организации.

При разработке стратегической карты был использован последовательно-поэтапный подход, при котором социальная ответственность встраивается в процесс разработки стратегии управления организацией. Формирование стратегии включает 4 этапа (Рисунок 3).



Рис. 3 – Этапы формирования стратегии управления социальной ответственностью аптечных организаций

В стратегическую карту интегрированы задачи аптечной организации и 7 тем СОБ с указанием доминирующих практик по каждой из тем [3], [4].

Таблица 3 – Стратегическая карта социально ответственной аптечной организации

Включений основных тем СОБ в стратегию	Доминирующие практики
Организационное управление: создание локальных документов, регулирующих социальную политику аптечной организации	1. разработка аптечной организацией стратегии, целей, задач, отражающих ее обязательств в отношении социальной ответственности; 2. регулирование процессом управления социальной ответственностью аптечной организации; 3. демонстрация аптечной организацией обязательств и подотчетности руководства в области СОБ (позиционирование аптечных организаций; наличие локальных документов, регламентирующих политику аптечной организации в рамках СОБ); 4. установка процессов обмена информацией между аптечной организацией и заинтересованными сторонами (в т.ч. размещение информации о СОБ на официальных сайтах); 5. поощрение эффективного участия работников всех уровней в деятельности аптечной организации в области социальной ответственности
Права человека: создание механизмов для соблюдения прав человека (аптечных работников и потребителей) и обеспечение их информационно-социальной поддержкой	1. соблюдение прав и свобод человека, уважение к личности 2. не допущение дискриминации
Трудовые практики: создание механизмов, формирующих качество трудовой жизни аптечных работников	1. «соблюдение установленных законом прав работника на рабочем месте, честное исполнение трудовых договоров, регламентирующих взаимоотношения между работодателями и работниками, поддержка высокого уровня безопасности труда; 2. обеспечение аптечных работников достойной официальной заработной платой во взаимосвязи с результатами их деятельности, производительностью труда, уровнем квалификации, профессионализмом, ответственностью, исполнительностью и дисциплинированностью; 3. обеспечение комфортных и безопасных условий для работы аптечного персонала, атмосферы солидарности и доверия между работодателями и работниками, 4. создание равных условий для профессионального и карьерного роста аптечных работников; 5. правдивое информирование аптечных работников о реальном положении дел в организации, недопущение обмана сотрудников; 6. создание условий для лечения, оказания помощи в критических ситуациях, в том числе при потере работы»; 7. закрепление социальных гарантий работников в коллективных и трудовых договорах; 8. поддержание у сотрудников чувства корпоративной принадлежности, приверженности ценностям и идеалам аптечной организации
Окружающая среда: разработка программ по эффективному использованию ресурсов и энергосберегающих технологий	1. «соблюдение законодательства и нормативных требований в области охраны окружающей среды, в т.ч. соблюдение аптечными организациями требований к уничтожению лекарственных препаратов»; 2. эффективное использование ресурсов, снижение образования загрязняющих веществ и отходов и сокращение их воздействия на окружающую среду, внедрение энергосберегающих технологий; 3. обучение и повышение осведомленности в области охраны окружающей среды внутри организации; 4. финансирование экологических проектов

Окончание таблицы 3 – Стратегическая карта социально ответственной аптечной организации

Включений основных тем СОБ в стратегию	Доминирующие практики
Добросовестные деловые практики: разработка локальных документов	1. социально ответственные закупки; 2. противодействие коррупции (внедрение антикоррупционных политик и практик, повышение осведомленности работников, представителей, поставщиков и др. в вопросах коррупции и противодействия ей); 3. соблюдение принципов добросовестной конкуренции
Потребители и их обслуживание: разработка стандартных операционных процедур	1. реализация качественных и сертифицированных товаров; 2. высокий уровень обслуживания потребителей; 3. добросовестные практики маркетинга; 4. добросовестное и правдивое информирование потребителей о товарах, подлежащих реализации
Местные сообщества и органы власти: наличие соглашений	1. выплата налогов в бюджеты всех уровней своевременно и в полном объеме; 2. содействие образованию и сохранению культурно-исторического наследия; 3. создание рабочих мест; 4. сотрудничество с органами местной власти в области социальных практик (наличие соглашений); 5. содействие охране здоровья граждан (участие в общественных кампаниях по профилактике здоровья, повышение доступности услуг здравоохранения и др.); 6. социальные инвестиции, в т.ч. благотворительная деятельность.

Включение в практическое управление аптечных организаций данной стратегической карты позволит развиваться им как социально ответственным организациям.

Заключение

Впервые в России проведено исследование проблемы СОБ применительно к аптечному бизнесу. Впервые применена методика изучения информации, отраженной в сети Интернет. Данная методика может быть использована для экспресс-диагностики и оценки состояния управленческих подходов аптечных организаций к развитию практик СОБ. Кроме этого, результаты исследования могут стать основой для переосмысления руководителями аптечных организаций.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бикеева М. В. Стандартизация корпоративной социальной ответственности: опыт Европейского союза / М. В. Бикеева // Стандартизация и сертификация: опыт стран Европейского союза и перспективы сотрудничества для России: материалы Международной науч.-практ. конф. 05 апреля 2018 г., Нижневартовск / Нижневартовский гос. ун-т. – Нижневартовск, 2018. – С. 24-28.
2. Благов Ю. Е. Эволюция концепции КСО и теория стратегического управления / Ю. Е. Благов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент. – 2011. – №1. – С. 3-26.
3. Гетьман М. А. Лекарственные средства в окружающей среде / М. А. Гетьман, И. А. Наркевич // Ремедиум. – 2013. – №2. – С. 50-54.
4. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Руководство по социальной ответственности (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 29.11.2012 N 1611-ст). – Введ. 2013-03-15. – М.: Стандартинформ, 2014. – 125 с.
5. Карева Н. Н. Результаты мониторинга официальных сайтов российских аптечных сетей / Н. Н. Карева, В. Д. Швецова // Национальная Ассоциация Ученых. – 2020. – №29/56. – С. 20-22.
6. Корпоративная социальная ответственность : учебник / коллектив авторов под ред. И. Ю. Беляевой, М. А. Эскиндарова. – М.: КНОРУС, 2020. – 316 с.
7. Национальная сеть Глобального договора ООН в России [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.globalcompact.ru> (дата обращения: 16.06.2021).
8. Социальная хартия российского бизнеса. Редакция 2007 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://rspp.ru/12/6273.pdf> (дата обращения: 16.06.2021).
9. Стандарт ТПП РФ «Социальная отчетность предприятий и организаций, зарегистрированных в Российской Федерации. Основные положения» [Электронный ресурс]. – URL: https://tpprf.ru/ru/reg_docs/standart/ (дата обращения: 16.06.2021).
10. Account Ability's AA1000 Series of Standards [Electronic resource]. – URL: <https://www.accountability.org/standards/> (accessed: 16.06.2021).
11. Global Reporting Initiative [Electronic resource]. – URL: <https://www.globalreporting.org/> (accessed: 16.06.2021).

12. ISO 26000. Social responsibility [Electronic resource]. – URL: www.iso.org/iso/ru/home/standards/iso26000.htm (accessed 16.06.2021).
13. OECD (2013), OECD Guidelines for Multinational Enterprises 2011 Edition (Russian version), OECD Publishing [Electronic resource]. – URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264203204-ru> (accessed 16.06.2021).
14. Social Accountability 8000 [Electronic resource]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Social_Accountability_8000 (accessed 16.06.2021).
15. Tripartite Declaration of Principles concerning Multinational Enterprises and Social Policy (MNE Declaration) - 5th Edition (2017) [Electronic resource]. – URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---multi/documents/publication/wcms_094386.pdf (accessed 16.06.2021).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bikeeva M. V. Standartizaciya korporativnoj social'noj otvetstvennosti: opyt Evropejskogo soyuza [Standardization of corporate social responsibility: the experience of the European Union] / M. V. Bikeeva // Standartizaciya i sertifikaciya: opyt stran Evropejskogo soyuza i perspektivy sotrudnichestva dlya Rossii: materialy Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. 05 aprelya 2018 g. [Standardization and certification: the experience of the countries of the European Union and prospects for cooperation for Russia: materials of the International scientific-practical. conf. April 05, 2018], Nizhnevartovsk / Nizhnevartovskij gos. un-t. [Nizhnevartovsk State University] – Nizhnevartovsk, 2018. – pp. 24-28. [in Russian]
2. Blagov Yu. E. Evolyuciya koncepcii KSO i teoriya strategicheskogo upravleniya [Evolution of the CSR concept and the theory of strategic management] / Yu. E. Blagov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Menedjment [Bulletin of St. Petersburg University. Management]. - 2011. – №1. – P. 3-26. [in Russian]
3. Getman M. A. Lekarstvennye sredstva v okrujayuschej srede [Medicines in the environment] / M. A. Getman, I. A. Narkevich // Remedium [Remedium]. – 2013. – №2. – P. 50-54. [in Russian]
4. GOST R ISO 26000-2012. Nacionalnii standart Rossijskoi Federacii. Rukovodstvo po socialnoi otvetstvennosti [National standard of the Russian Federation. Social Responsibility Guidelines] (utv. i vveden v deystvie Prikazom Rosstandarta ot 29.11.2012 N 1611-st). - Vved. 2013-03-15. – M. : Standartinform [Standartinform], 2014. – 125 p. [in Russian]
5. Kareva N. N. Rezul'taty monitoringa oficial'nyh sajtov rossijskih aptechnyh setej [The results of monitoring the official sites of Russian pharmacy chains] / N. N. Kareva, V. D. Shvecova // Nacional'naya Associaciya Uchenyh [National Association of Scientists]. – 2020. - №29/56. - P. 20-22.
6. Korporativnaya socialnaya otvetstvennost : uchebnik [Corporate social responsibility: textbook] / ed. I. Yu. Belyaevoi, M. A. Eskindarova. – M. : KNORUS, 2020. – 316 p. [in Russian]
7. Nacional'naya set' Global'nogo dogovora OON v Rossii [National network of the UN Global Compact in Russia] [Electronic resource]. – URL: <http://www.globalcompact.ru> (accessed: 16.06.2021). [in Russian]
8. Social'naya hartiya rossijskogo biznesa. Redakciya 2007 g. [Social Charter of Russian Business. Edition 2007] [Electronic resource]. – URL: <http://rspp.ru/12/6273.pdf> (accessed: 16.06.2021). [in Russian]
9. Standart TPP RF «Social'naya otchetnost' predpriyatij i organizacij, zaregistrirovannyh v Rossijskoj Federacii. Osnovnye polozheniya» [Standard of the RF CCI “Social reporting of enterprises and organizations registered in the Russian Federation. Basic provisions] [Electronic resource]. – URL: https://tpprf.ru/ru/reg_docs/standart/ (accessed: 16.06.2021). [in Russian]
10. Account Ability's AA1000 Series of Standards [Electronic resource]. – URL: <https://www.accountability.org/standards/> (accessed: 16.06.2021).
11. Global Reporting Initiative: official site [Electronic resource]. – URL: <https://www.globalreporting.org/> (accessed: 16.06.2021).
12. ISO 26000. Social responsibility [Electronic resource]. – URL: www.iso.org/iso/ru/home/standards/iso26000.htm (accessed: 16.06.2021).
13. OECD (2013), OECD Guidelines for Multinational Enterprises 2011 Edition (Russian version), OECD Publishing [Electronic resource]. – URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264203204-ru> (accessed: 16.06.2021). [in Russian]
14. Social Accountability 8000 [Electronic resource]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Social_Accountability_8000 (accessed: 16.06.2021).
15. Tripartite Declaration of Principles concerning Multinational Enterprises and Social Policy (MNE Declaration) - 5th Edition (2017) [Electronic resource]. – URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---multi/documents/publication/wcms_094386.pdf (accessed: 16.06.2021).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.024>**ОБНАРУЖЕНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КУМАРИНОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ ЛЮБИСТОКА ЛЕКАРСТВЕННОГО, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научная статья

Кубасова Е.Д.^{1,*}, Корельская Г.В.², Суханов А.Е.³, Крылов И.А.⁴, Кубасов Р.В.⁵¹ ORCID: 0000-0001-9683-7814;² ORCID: 0000-0003-4236-1966;³ ORCID: 0000-0002-6214-307X;⁴ ORCID: 0000-0003-3042-4229;⁵ ORCID: 0000-0003-1698-6479;¹⁻⁵ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

* Корреспондирующий автор (lapkino[at]mail.ru)

Аннотация

Актуальность: биологически активные субстанции, определяемые в лекарственном растении Любисток лекарственный (*Levisticum officinale* W.D.J. Koch), разнообразны. Среди них значительную заинтересованность для фармации имеют кумарины и их производные, поскольку имеют разносторонний лекарственный эффект. Цель исследования – обнаружение и количественное определение кумаринов в Любистоке лекарственном, произрастающем в Архангельской области, для возможного определения сырья этого растения в качестве лекарственного. Материалы и методы: определено наличие и количественное содержание кумаринов в сырье Любистока лекарственного, произрастающего на территории Архангельской области с помощью спектрофотометрического метода химического анализа. Результаты исследования: качественными пробами (лактонная, реакция с диазореактивом в щелочной среде) подтверждено наличие в корнях изучаемого растения кумаринов; количественно определено содержание кумаринов относительно общей сухой массы сырья, оно составило $0,213 \pm 0,009\%$ (95% доверительный интервал = 0,188-0,238). Полученные результаты согласуются с данными других исследователей, средняя относительная доля кумаринов по отношению к общей массе сухого растения соотносится к среднестатистическим научным результатам (входит в интервал 0,19 до 0,52%).

Ключевые слова: Любисток лекарственный, кумарины.**DETECTION AND QUANTITATIVE DETERMINATION OF COUMARINS IN THE PLANT RAW MATERIALS OF THE MEDICINAL PLANT GROWING IN ARKHANGELSK OBLAST**

Research article

Kubasova E.D.^{1,*}, Korelskaya G.V.², Sukhanov A.E.³, Krylov I.A.⁴, Kubasov R.V.⁵¹ ORCID: 0000-0001-9683-7814;² ORCID: 0000-0003-4236-1966;³ ORCID: 0000-0002-6214-307X;⁴ ORCID: 0000-0003-3042-4229;⁵ ORCID: 0000-0003-1698-6479;¹⁻⁵ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

* Corresponding author (lapkino[at]mail.ru)

Abstract

Relevance: biologically active substances identified in the medicinal plant *Levisticum officinale* W.D.J. Koch are diverse. Among them, coumarins and their derivatives are of considerable interest for pharmacy, since they have a versatile medicinal effect. The purpose of the study is the detection and quantitative determination of coumarins in the medicinal Lovage growing in Arkhangelsk Oblast, for the possible identification of the raw materials of this plant as medicinal. Materials and methods: the presence and quantitative content of coumarins in the raw materials of medicinal lovage growing on the territory of Arkhangelsk Oblast was determined using the spectrophotometric method of chemical analysis. Results of the study: qualitative samples (lactone, reaction with diazoreactive in an alkaline medium) confirmed the presence of coumarins in the roots of the plant; the content of coumarins relative to the total dry mass of raw materials was quantified, it amounted to $0.213 \pm 0.009\%$ (95% confidence interval = 0.188-0.238). The results obtained are consistent with the data of other researchers, the average relative proportion of coumarins relative to the total mass of the dry plant corresponds to the average scientific results (included in the range of 0.19 to 0.52%).

Keywords: Medicinal lovage, coumarins.**Введение**

Любисток лекарственный (*Levisticum officinale* W.D.J. Koch) представляет собой многолетнее холодостойкое травянистое растение, широко используемое в различных отраслях хозяйства. Благодаря наличию в нем биологически активных веществ, во многих странах он используется в фармацевтической промышленности и, таким образом, это растение отнесено к лекарственным. Некоторые его составляющие (корни, плоды) включены в Европейскую и Британскую травяную фармакопеи [1]. В Российской Федерации и ряде стран СНГ (Украина, Беларусь, Молдова, Казахстан) это растение также разрешено к медицинскому применению, как однокомпонентное (простое) гомеопатическое лекарственное средство. Среди многочисленного количества разновидностей биологически активных веществ, обнаруженных в *Levisticum officinale* W.D.J. Koch, особое положение занимают кумарины. Кумарины – класс природных органических соединений, представляющих собой ненасыщенные ароматические лактоны, в основе которых лежит 5,6-бензо- α -пирон (кумарин) — лактон цис-орто-оксикоричной кислоты. Они достаточно часто

встречаются в высших растениях, однако наибольшее число их обнаружено в семействе зонтичных, к которым принадлежит Любисток лекарственный. Преимущественная локализация кумаринов в растении – в корнях [2]. Лекарственный эффект кумаринов очень разносторонний, благодаря высокой фармакологической активности. Наиболее изученные лечебные свойства их проявляются в виде спазмолитического, фотосенсибилизирующего, противоопухолевого, антикоагулянтного действия на организм [3]. Физиологическое действие непосредственно самого кумарина на человека является очень слабым. В основном заметный эффект имеют некоторые производные кумарина. Например, производные кумарин-3-карбоновых кислот являются снотворными средствами. Дикумарол (3,3'-метилен-бис-4-оксикумарин) препятствует свертыванию крови, его избыток может стать причиной тяжелых кровотечений. Кумарин и его производные являются антагонистами витамина К, которые блокируют в печени синтез витамин-К-зависимых факторов свертывания крови. За счёт этого в медицине кумарин используется в качестве антикоагулянтов непрямого действия. В то же время избыточное попадание и накопление кумаринов в организме приводит к резкому снижению витамина К и, как следствие, склонности к кровотечениям [4]. Наличие и количественное содержание биологически активных субстанций *Levisticum officinale* W.D.J. Koch может варьировать в зависимости от многочисленных факторов, среди которых одним из ведущих является территория его произрастания [5], [6].

В связи с изложенным, целью нашего исследования явилось обнаружение и количественное определение кумаринов в Любистке лекарственном, произрастающем в Архангельской области, для возможного определения сырья этого растения в качестве лекарственного.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования нами было использовано воздушно-сухое сырье Любистка лекарственного. Ареал произрастания исследуемых образцов – Архангельская область (Верхне-Тоемский район). Время произрастания и сбора – осень 2020 года. Конкретной ботанической частью, с которой проводился анализ, явились корни растения. Следуя соответствующим инструкциям по правилам сбора и сушки лекарственных растений изначально проведена заготовка необходимого растительного сырья [7]. Хранение сырья проводили согласно требованиям правил общей фармакопейной статьей ОФС.1.1.0011.15 [8].

Непосредственное извлечение кумаринов из растительного сырья выполняли с помощью экстрактора Сокслета. Фильтрацию исследуемых растворов и экстрактов осуществляли через бумажные фильтры «белая лента» и «синяя лента» (ТУ 2642-001-13927158-2003, Россия).

Спектрофотометрические исследования проводили на спектрофотометре Hitachi U 5100 UV/VIS (Япония) с использованием кювет из кварца 10×10 мм, объемом 3,5 мл с оптимальным пропускающим диапазоном 190-2500 нм.

Реактивы и растворители, используемые в исследовании, отвечали нормативной документации [8].

Наличие биологически активных веществ определяли соответствующими химическими реакциями [9].

Для обнаружения (индикации) кумаринов использовали извлечение, приготовленное следующим образом: 2 г измельченного сырья заливали 20 мл этилового спирта и кипятили в течение 15 минут с обратным холодильником. После охлаждения фильтрат подвергали соответствующим качественным реакциям: лактонная проба; реакция с диазореактивом в щелочной среде [9].

Количественное определение кумаринов в растительном сырье осуществлено согласно «Методике в пересчете на псорален» [9].

Содержание суммы кумаринов X (%), в пересчете на псорален вычисляли по формуле:

$$X = \frac{D * 100 * 100 * 50}{650 * a * 20 * 10},$$

где D - оптическая плотность испытуемого раствора при 290 нм;

650 - удельный показатель поглощения псоралена при 290 нм;

a - масса навески сырья, взятого для анализа, г.

Статистическую обработку результатов исследования проводили в соответствии с общей фармакопейной статьей ОФС 1.1.0013.15 «Статистическая обработка результатов химического эксперимента» [8]. Для метрологических характеристик использованы: среднее значение выборки ($\bar{X}$), стандартное отклонение (SD), среднеквадратическое отклонение (SD^2), 95% доверительный интервал (95% ДИ).

Результаты исследования и их обсуждение

Использованные нами качественные химические реакции на предмет обнаружения кумаринов в исследуемых экземплярах растений *Levisticum officinale* W.D.J. Koch оказались положительными. Так, в процессе проведения лактонной пробы после добавления 10% спиртового раствора калия гидроксида уже с первых минут нагревания на водяной бане окраска раствора стала приобретать желтый цвет. К концу эксперимента (в течение 5 минут) цвет раствора оказался интенсивно желтым. Далее, после охлаждения пробы с добавлением 2 мл очищенной воды, согласно методике, была изменена pH раствора (в сторону ее снижения, до кислой), путем добавления 10% раствора хлористоводородной кислоты. При этом, практически сразу произошло помутнение желтого раствора с дальнейшим выпадением темного осадка. Такие изменения указывают на наличие в обрабатываемых пробах кумаринов.

При проведении реакции диазореактивом в щелочной среде наблюдалась следующая динамика: прозрачный раствор после добавления 10% спиртового раствора калия гидроксида с последующим нагреванием на водяной бане в течение 5 минут изменился на малиново-красный цвет; после добавления диазотированной кислоты сульфаниловой окраски раствора стала насыщенного коричнево-красного цвета. Это свидетельствует о положительной реакции и, соответственно, о присутствии кумаринов в изучаемом растительном сырье.

Для определения количественного содержания кумаринов в корнях любистка лекарственного использована методика их вычисления по оптической плотности пробы с последующим пересчетом на псорален.

Изначально, количественное содержание кумаринов определяли в шести повторениях, что является достаточным при проведении аналитических химических исследований при условии нормального распределения полученной выборки. Результаты исследования этих 6 образцов проб, полученных из корней любистока лекарственного представлены в таблице 1.

Суммарное содержание кумаринов рассчитывалось после получения оптической плотности подготовленных проб. Для этого использовали специальную «формулу в пересчете на псорален».

По полученным данным, после полного проведения анализа и всех необходимых расчетов (в т.ч. с использованием формулы пересчета на псорален) относительное содержание суммы кумаринов в сухом сырье составило $0,213 \pm 0,009\%$. Ошибка среднего результата определения кумаринов не превысила 5% уровень.

Таблица 1 – Результаты определения содержания кумаринов в корнях любистока лекарственного

№ пробы	Навеска (а), г	Оптическая плотность	Содержание кумаринов, %
1	3,0282	0,294	0,201
2	3,0052	0,151	0,208
3	3,0187	0,326	0,224
4	3,0063	0,305	0,210
5	3,0158	0,306	0,210
6	3,0616	0,335	0,226
Метрологические характеристики	$\bar{x} = 0,213$; $SD = 0,0097658$; $SD^2 = 0,00009537$ 95% ДИ = 0,188-0,238		

Полученные нами результаты исследования по наличию и количественному содержанию кумаринов в корнях *Levisticum officinale* W.D.J. Koch сопоставимы с данными других исследователей. Так, хроматографический анализ экстракта корня любистока лекарственного на тонком слое сорбента представил информацию о присутствии кумаринов: бергаптена, ангелицина, умбеллиферона и 3-бутиленфалида [6]. Использование метода спектроскопии ядерного магнитного резонанса позволило также выделить кумарины (бергаптен) экстракте корней любистока лекарственного. [10]. Согласно обобщенной имеющейся информации в литературе, количественное содержание кумаринов (в пересчете на псорален) в корнях *Levisticum officinale* колеблется от 0,19 до 0,52% [11].

Таким образом, наше исследование на предмет наличия и количественного содержания кумаринов в корнях *Levisticum officinale* W.D.J. Koch, произрастающего в Архангельской области, позволяют отнести это растение к потенциально рекомендуемым к использованию в фармацевтической отрасли.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Novák I. Effect of harvesting time and plant age on some quality parameters of lovage (*Levisticum officinale* Koch.) / I. Novák // *Acta Hort.* – 2002. – Vol. 576. – P. 311-314.
- Пастушенков Л.В. Лекарственные растения. Использование в народной медицине и в быту / Л.В. Пастушенков, А.Л. Пастушенков, В.Л. Пастушенков. СПб.: БХВ -Петербург, 2012. 432 с.
- Пименов М.Г. Перечень растений – источников кумариновых соединений / М.Г. Пименов. – Л.: Наука. Ленингр. отд., 1971. – 200 с.
- Donaldson M.S. Vitamin K: the missing link to prostate health / M.S. Donaldson // *Medical Hypotheses*. – 2015. – Vol. 84 (3). – P. 219–222.
- Валентинов Б.Г. Сырье традиционной китайской медицины. Rhizoma chuanxiong корневище любистока Сычуаньского / Б.Г. Валентинов, Э.М. Наумова, М.М. Олейникова // *Вестник новых медицинских технологий*. – 2005. – №3-4. – С. 97-100.
- Assessment report on *Levisticum officinale* Koch, radix. – 2012 ЕМА/НМРС/524623/2011 Committee on Herbal Medicinal Products (НМРС)
- Правила сбора и сушки лекарственных растений: сборник инструкций / отв. ред. А. И. Шретер и др. - М.: Медицина, 1985. – 328 с.
- Государственная Фармакопея РФ. Том 1 / Министерство здравоохранения РФ –14-е изд. – Москва, 2018. – 1814 с.
- Гринкевич Н.И. Химический анализ лекарственных растений: Учебное пособие для фармацевтических вузов / Н.И. Гринкевич, Л.Н. Сафронич, М.Я. Ладыгина и др.: М: Высшая школа, 1983.-176 с.
- Monsefahani H. Antibacterial Components of *Levisticum officinale* Koch against Multidrug-resistant *Mycobacterium tuberculosis* / M.M. Farimani et al. // *Pharmaceutical Sciences*. – 2020. – Vol. 26(4). – P. 441-47.
- Яницкая А.В. Анатомо-морфологическое изучение плодов *Psoralea corylifolia* L. (Fabaceae) / А.В. Яницкая, М.А. Ярковой, Е.В. Малаева и др. // *Волгоградский научно-медицинский журнал*. – 2019. – №3. – С. 58-61.

Список литературы на английском языке / References in English

- Novák I. Effect of harvesting time and plant age on some quality parameters of lovage (*Levisticum officinale* Koch.) / I. Novák // *Acta Hort.* – 2002. – Vol. 576. – P. 311-314.
- Pastushenkov L.V. Lekarstvennye rasteniya. Ispol'zovanie v narodnoj medicine i v bytu [Pharmaceutical plants. Use in traditional medicine] / L.V. Pastushenkov, A.L. Pastushenkov, V.L. Pastushenkov. St-Pb.: BHV-Petersburg, 2012. – 432 p. [in Russian]

3. Pimenov M.G. Perechen' rastenij – istochnikov kumarinovyh soedinenij [List of plants – sources of coumarin compounds] / M.G. Pimenov. – L.: Nauka. Leningrad Dpt., 1971. – 200 p. [in Russian]
4. Donaldson M.S. Vitamin K: the missing link to prostate health / M.S. Donaldson // Medical Hypotheses. – 2015. – Vol. 84 (3). – P. 219–222.
5. Valentinov B.G. Syr'e tradicionnoj kitajskoj mediciny. Rhizoma chuanxiong kornevishhe ljubistoka Sychuan'skogo [Starting materials of traditional China medicine: Rhizoma Chianxiong] / B.G. Valentinov, E.M. Naumova, M.M. Oleynikova // Vestnik novyh medicinskih tehnologij [Journal of new medical technologies]. – 2005. – №3-4. – P. 97-100. [in Russian]
6. Assessment report on Levisticum officinale Koch, radix. – 2012 EMA/HMPC/524623/2011 Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC)
7. Pravila sbora i sushki lekarstvennyh rastenij: sbornik instrukcij [Rules for the selection and drying of medicinal plants: a collection of instructions] / ed. By A.I. Shreter et al. - Moscow: Medicine, 1985. – 328 p. [in Russian]
8. Gosudarstvennaja Farmakopeja RF [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. Vol. 1 / Ministry of Russian Federation –14-th. edition – Moscow, 2018. – 1814 p. [in Russian]
9. Grinkevich N.I. Himicheskij analiz lekarstvennyh rastenij: Uchebnoe posobie dlja farmacevticheskikh vuzov [Chemical analysis of medicinal plants: Textbook for pharmacy Universities] / N.I. Grinkevich, L.N. Safronich, M.Ya, Ladygina et al.: M: Vyscsnya shkola, 1983. – 176 p. [in Russian]
10. Monsefeshani H. Antibacterial Components of Levisticum officinale Koch against Multidrug-resistant Mycobacterium tuberculosis / M.M. Farimani et al. // Pharmaceutical Sciences. – 2020. – Vol. 26(4). – P. 441-47.
11. Yanitskaya A.V. Anatomo-morfologicheskoe izuchenie plodov Psoralea corylifolia L. (Fabaceae) [Anatomic-morphological investigation of fruits Psoralea corylifolia L. (Fabaceae)] / A.V. Yanitskaya, M.A. Yarkovoy, E.V. Malaeva et al. // Volgogradskij nauchno-medicinskij zhurnal [Volgograd Journal of Medical Research]. – 2019. – №3. – P. 58-61. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.025>

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФИТОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭКСТРАКТА ХЛОРЕЛЛЫ

Научная статья

Митишев А.В.^{1,*}, Моисеев Я.П.², Курдюков Е.Е.³, Пронькина А.А.⁴, Семенова Е.Ф.⁵¹ ORCID: 0000-0002-3327-9744;³ ORCID: 0000-0001-9512-6770;¹⁻⁴ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия;⁵ Медицинская академия имени С.И. Георгиевского «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Россия

* Корреспондирующий автор (span2361[at]rambler.ru)

Аннотация

В последние годы в фармацевтической технологии особое внимание уделяется фитопрепаратам. Данная группа лекарственных средств включает в себя растительные экстракты, содержащие комплекс биологически активных соединений, который обладает широким спектром действия, хорошей переносимостью и низким риском развития нежелательных реакций.

Целью проведенного исследования являлось изучение влияния экстрагентов на компонентный состав экстракта хлореллы и разработка качественных методов анализа.

Исследования показали, что экстракты, полученные с помощью различных экстрагентов из биомассы *Chlorella vulgaris* штаммов С-2019, С-11, С-16, С-98 содержат широкий спектр биологически активных соединений, таких как флавоноиды, терпеноиды, алкалоиды, гликозиды и сапонины. Помимо прочего были проведены качественные реакции на основные биологически активные соединения, которые в дальнейшем могут использоваться для подтверждения качества экстрактов хлореллы.

Ключевые слова: микроводоросли, *Chlorella vulgaris*, качественные реакции, флавоноиды, дубильные вещества.

SOME ASPECTS OF PHYTOCHEMICAL ANALYSIS OF CHLORELLA EXTRACT

Research article

Mitishchev A.V.^{1,*}, Moiseev Ya.P.², Kurdyukov E.E.³, Pronkina A.A.⁴, Semenova E.F.⁵¹ ORCID: 0000-0002-3327-9744;³ ORCID: 0000-0001-9512-6770;¹⁻⁴ Penza State University, Penza, Russia;⁵ Medical Academy named after S.I. Georgievsky of Vernadsky CFU, 4 Simferopol, Russia

*Corresponding author (span2361[at]rambler.ru)

Abstract

Recently, much attention has been paid to phytopreparations in pharmaceutical technology. This group of medicines includes plant extracts containing a complex of biologically active compounds with a wide spectrum of action, good tolerability and a low risk of adverse reactions. In this regard, the purpose of this study was to study the effect of the extractant on the component composition of chlorella extract and to develop qualitative methods of analysis. The conducted studies have shown that extracts obtained with the help of various extractants from biomass *C. vulgaris* strains C-2019, C-11, C-16, C-98 contain a wide range of biologically active compounds, such as flavonoids, terpenoids, alkaloids, glycosides and saponins. Qualitative reactions were carried out on the main biologically active compounds, which can later be used to confirm the quality of chlorella extracts.

Keywords: microalgae, *Chlorella vulgaris*, qualitative reactions, flavonoids, tannins.

Введение

В океане микроводоросли являются основными продуцентами более шестидесяти видов органических веществ, включая минералы, белки и многие другие биологически активные соединения [1]. Главным видимым преимуществом микроводорослей перед другими организмами является то, что они являются фотоавтотрофами и поэтому не требуют органических веществ для выращивания, следовательно, их крупномасштабное культивирование теоретически проще и дешевле [2]. Микроводоросли используются в различных отраслях промышленности, таких как пищевая, косметическая, нутрицевтическая, медицинская, фармацевтическая и сельскохозяйственная. Они синтезируют вторичные метаболиты для защиты от других микроорганизмов. В связи с этим, данные соединения могут быть использованы для борьбы с инфекционными заболеваниями.

Большая часть фитохимических соединений накапливается в биомассе микроводорослей. Многие из биологически и фармакологически активных соединений, выделенных из микроводорослей, трудно синтезировать химическим путем [2]. Было обнаружено, что большинство экстрактов микроводорослей и цианобактерий обладают антибактериальной, противогрибковой, противоопухолевой, противовирусной, антиоксидантной активностью [3].

Антимикробное действие экстрактов водорослей можно объяснить их фенольными компонентами [6]. Окислительное повреждение липидов, белков и нуклеиновых кислот, вызванное активными формами кислорода, может вызвать различные хронические заболевания, такие как ишемическая болезнь сердца, атеросклероз, рак и преждевременное старение организма [4]. Применение выделенных из микроводорослей антиоксидантных соединений, таких как каротиноиды, терпеноиды, полисахариды, пептиды, белки, витамины, акриловая кислота, терпены, хлорофиллиды, фенолы, гетероциклические соединения, стероиды, аминокислоты, флоротаннины, фенольные соединения, галогенированные кетоны, алканы и циклические полисульфиды, защищает от заболеваний, связанных с неправильным образом жизни [5].

В настоящее время фармацевтическая промышленность придает все большее значение соединениям, полученным традиционным путем из растений, и нетрадиционным – с помощью морских организмов [7], [8]. Настоящее

исследование было сосредоточено на разработке качественных методов определения фитохимических соединений микроводорослей.

Методы и принципы исследования

Объектом исследования являлась воздушно-сухая биомасса штаммов *Chlorella vulgaris* Beyerinck ИФР С-2019, С-11, С-16 и С-98, выращенная глубинным методом на среде Тамия при 16 часовом фотопериоде и температуре 28-30 °С. Высушенную биомассу хлореллы подвергали предварительной обработке органическими растворителями при температуре 60°C в течение 20 мин с использованием обратного холодильника с последующим выпариванием растворителя. В качестве растворителя использовали смесь этанол – ацетон - серный эфир (1:4:10). Для получения экстрактов использовали 5 экстрагентов: спирт этиловый 95%, ацетон (ХЧ), петролейный эфир (ХЧ), гексан (ХЧ) и гептан (ХЧ). Полученные экстракты для дальнейшего использования хранили при температуре от 2 до 4°C. Затем их исследовали на наличие дубильных веществ, флавоноидов, терпеноидов, стероидов, сапонинов, гликозидов и алкалоидов.

Методики определения:

1. Качественные реакции на дубильные вещества:

1.1. 1 мл экстракта хлореллы смешивали с 50 мл дистиллированной воды и по капле добавляли 1% раствор хлорида железа. Образование темно-зеленого раствора указывало на наличие дубильных веществ.

1.2 1 мл экстракта хлореллы смешивали с 50 мл дистиллированной воды и по капле добавляли железосаммонийные квасцы. Образование темно-зеленого раствора указывало на наличие дубильных веществ.

2. Качественные реакции на флавоноиды:

2.1. К 1 мл экстракта водорослей добавляли магний и несколько капель концентрированной HCl. На присутствии флавоноидов указывало красное или оранжевое окрашивание, обусловленное образованием антоцианидинов.

2.2. 0,5 мл экстракта водорослей растворяли в 1 мл 10% NaOH и добавляли несколько капель концентрированной HCl. На присутствии флавоноидов указывало исчезновение желтого окрашивания раствора.

3. Качественная реакция на терпеноиды:

К 1 мл экстракта добавляли 0,400 мл хлороформа и смешивали. Затем добавляли несколько капель концентрированной серной кислоты. Образовалась красновато-коричневая граница раздела, что указывало на присутствие терпеноидов.

4. Качественная реакция на гликозиды (Реакция Балье):

Для анализа необходима свежеприготовленная смесь гидроксида натрия и пикриновой кислоты (среда раствора щелочная).

1 мл извлечения выпаривали на водяной бане. Сухой остаток растворяли в 1 мл этанола. Полученный спиртовой раствор перелили в пробирку и добавили 1 мл свежеприготовленного раствора пикрата натрия. Постепенное появление оранжевого, розового или красного окрашивания указывало на присутствие гликозидов.

5. Качественная реакция на алкалоиды:

К экстракту микроводорослей добавляли несколько капель реагента Вагнера (раствор йода в йодиде калия). Появление красновато-коричневого осадка указывало на наличие алкалоидов.

6. Качественная реакция на сапонины:

К 1 мл экстракта микроводорослей добавляли несколько капель 1 % хлорида железа. Вспенивание или появление кремообразной массы из мелких пузырьков указывало на присутствие сапонинов.

Основные результаты

Биомассу четырех штаммов *Chlorella vulgaris* экстрагировали пятью различными растворителями. Фитохимические вещества, присутствующие в экстрактах микроводорослей, были идентифицированы как флавоноиды, терпеноиды, алкалоиды, гликозиды и сапонины (см. таблицу 1). Все экстракты микроводорослей в своем составе содержали флавоноиды. Известно, что реакции на флавоноиды основаны на образовании окрашенных комплексных соединений. В качестве основной специфической реакции на флавоноиды использовалась цианидиновая проба (проба Шинода).

Таблица 1 – Фитохимический анализ различных экстрактов *Chlorella vulgaris*

Штамм <i>C. vulgaris</i>	Экстракт	Дубильные вещества	Флавоноиды	Терпеноиды	Гликозиды	Алкалоиды	Сапонины
С- 2019	Ацетоновый	++	++	-	++	-	-
	Спиртовой	+++	+++	+	+	-	+
	Гептановый	++	++	-	-	+	-
	Гексановый	++	+	-	+	+	-
	Петролейный	++	+++	+	-	+	+
С - 11	Ацетоновый	++	++	-	+	+	-
	Спиртовой	+++	+	-	+	-	-
	Гептановый	++	+	++	+	-	-
	Гексановый	++	++	-	+	-	-
	Петролейный	+	++	++	-	-	-

Окончание таблицы 1 – Фитохимический анализ различных экстрактов *Chlorella vulgaris*

Штамм <i>C. vulgaris</i>	Экстракт	Дубильные вещества	Флавоноиды	Терпеноиды	Гликозиды	Алколоиды	Сапонины
С - 16	Ацетоновый	++	+	-	+	-	-
	Спиртовой	+++	+	+	-	-	+
	Гептановый	++	++	+	-	+	-
	Гексановый	+	+	-	-	+	-
	Петролейный	++	++	-	+	-	-
С - 98	Ацетоновый	+	+	-	+	-	-
	Спиртовой	+++	+	-	-	-	+
	Гептановый	+	++	-	-	-	-
	Гексановый	+	+	-	+	+	-
	Петролейный	++	++	+	-	+	-

Примечание: Высокая концентрация (+++), Умеренная концентрация (++), Низкая концентрация (+) и отсутствие (-)

Флавоноиды являлись преобладающими фитохимическими веществами и обнаруживались во всех экстрактах, полученных с помощью различных экстрагентов. Наиболее высокие показатели содержания наблюдались в спиртовых и петролейных экстрактах штамма С-2019. Также во всех экстрактах микроводорослей присутствовали дубильные вещества.

В основном алкалоиды присутствовали в гептановых, а сапонины в спиртовых экстрактах. Терпеноиды и гликозиды встречались в экстрактах биомассы штамма С-11.

Заключение

Проведенные исследования экстрактов, полученных с помощью различных экстрагентов из биомассы *C. vulgaris* штаммов С-2019, С-11, С-16, С-98 показали, что в исследуемых растворах содержится широкий спектр биологически активных соединений: флавоноиды, терпеноиды, алкалоиды, гликозиды и сапонины. Проведенные испытания на данные соединения могут быть использованы для подтверждения качества экстрактов хлореллы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Asthana R.K. Isolation and identification of a new antibacterial entity from the Antarctic cyanobacterium *Nostoc* CCC 537 / R.K. Asthana, M.K. Tripathi, A. Srivastava, et al. // J ApplPhycol. – 2009. - № 21(1). – P. 81-88.
2. Ramaraj S. Abd Allah. Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine / S. Ramaraj, R. Ramalingam, H. Abeer, et al. // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2019. - № 26. P. 709–722.
3. Barkia I. Microalgae for High-Value Products towards Human Health and Nutrition / I. Barkia, N. Saari, S.R. Manning // Mar Drugs. – 2019. - № 17(5). – P. 304.
4. Finkel T. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing / T. Finkel, N.J. Holbrook // Nature. – 2008. - № 408. – P. 239–247.
5. Seghiri R. Functional Composition, Nutritional Properties, and Biological Activities of Moroccan Spirulina Microalga / R. Seghiri, M. Kharbach, A. Essamri // Journal of Food Quality. – 2019. – P. 1-11.
6. Митишев А. В. Микроводоросли как новый источник биологически активных соединений, обладающих антибактериальной активностью / А. В. Митишев, Е. Е. Курдюков, О. П. Родина и др. // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2021. – Т. 24. – № 7. – С. 24-29.
7. Salem W.M. Screening for antibacterial activities in some marine algae from the red sea / W.M. Salem // Afr J Microbiol Res. – 2011. - № 5. – P. 2160-2167.
8. Gorniak I. Comprehensive review of antimicrobial activities of plant flavonoids / I. Gorniak, R. Bartoszewski, J. Krolczewski // Phytochem Rev. – 2019. – № 18. – P. 245-256.
9. Куркина А.В. Актуальные вопросы химической стандартизации лекарственных растений, содержащих флавоноиды / А.В. Куркина // Фармация. – 2012. – Т. 60, №7. – С. 44–48.
10. Куркин В.А. Количественное определение суммы флавоноидов в побегах черники обыкновенной / В.А. Куркин, Т.К. Рязанова // Химико-фармацевтический журнал. – 2013. – Т. 47, №4. – С. 34–37.
11. Государственная Фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. – Т. 2. – 3262 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Asthana R.K. Isolation and identification of a new antibacterial entity from the Antarctic cyanobacterium *Nostoc* CCC 537 / R.K. Asthana, M.K. Tripathi, A. Srivastava, et al. // J ApplPhycol. – 2009. - № 21(1). – P. 81-88.
2. Ramaraj S. Abd Allah. Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine / S. Ramaraj, R. Ramalingam, H. Abeer, et al. // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2019. - № 26. P. 709–722.
3. Barkia I. Microalgae for High-Value Products towards Human Health and Nutrition / I. Barkia, N. Saari, S.R. Manning // Mar Drugs. – 2019. - № 17(5). – P. 304.
4. Finkel T. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing / T. Finkel, N.J. Holbrook // Nature. – 2008. - № 408. – P. 239–247.
5. Seghiri R. Functional Composition, Nutritional Properties, and Biological Activities of Moroccan Spirulina Microalga / R. Seghiri, M. Kharbach, A. Essamri // Journal of Food Quality. – 2019. – P. 1-11.

6. Mitishev A. V. Mikrovodorosli kak novyj istochnik biologicheski aktivnyh soedinenij, obladajushhih antibakterial'noj aktivnost'ju [Microalgae as a new source of biologically active compounds with antibacterial activity] / A. V. Mitishev, E. E. Kurdjukov, O. P. Rodina et al. // Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry. – 2021. – Vol. 24. – № 7. – P. 24-29. [in Russian]
7. Salem W.M. Screening for antibacterial activities in some marine algae from the red sea / W.M. Salem // Afr J Microbiol Res. – 2011. - № 5. – P. 2160-2167.
8. Gorniak I. Comprehensive review of antimicrobial activities of plant flavonoids / I. Gorniak, R. Bartoszewski, J. Krolczewski // Phytochem Rev. – 2019. – № 18. – P. 245-256.
9. Kurkina A.V. Aktual'nye voprosy himicheskoy standartizacii lekarstvennyh rastenij, sodержashhih flavonoidy [Topical issues of chemical standardization of medicinal plants containing flavonoids] / A.V. Kurkina // Pharmacy. – 2012. – Vol. 60, №7. – P. 44–48. [in Russian]
10. Kurkin V.A. Kolichestvennoe opredelenie summy flavonoidov v pobegah cherniki obyknovennoj [Quantitative determination of the amount of flavonoids in blueberry shoots] / V.A. Kurkin, T.K. Rjazanova // Pharmaceutical Chemistry Journal. – 2013. – Vol. 47, №4. – P. 34–37. [in Russian]
11. Gosudarstvennaja farmakopeja Rossijskoj Federacii [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. Edition. XIV. Vol 3. Ministerstvo zdravoohraneniya Rossijskoj Federacii. M. 2018; 3262 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.026>**РАЗРАБОТКА АППАРАТА МОКРОЙ ОЧИСТКИ ВЫБРОСНЫХ ГАЗОВ И УТИЛИЗАЦИИ ИХ ТЕПЛОТЫ**

Научная статья

Карев А.Н.^{1,*}, Тюрин М.П.²^{1,2} Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (alexcarew777[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье представлен подробный аналитический обзор основных результатов практического применения новых устройств очистки газовых выбросов. Приведены конструктивные схемы и технические параметры аппарата. Этот обзор может облегчить выбор оптимальной конструкции влажного пылеуловителя при проектировании систем газоочистки для конкретных промышленных условий. Также в работе указаны конструктивные особенности аппарата мокрой очистки газов, которые выбрасываются в атмосферу в результате определенной производственной деятельности. Также проведено изучение систем утилизации вторичных ресурсов энергетики применяемых в настоящее время.

Ключевые слова: выбросные газы, отходящие газы парогенераторов, влажный газ, теплота конденсации, нагрев воды, утилизация теплоты отходящих газов, паровой котел, система утилизации вторичных энергетических ресурсов, экономайзер, контактные теплообменники.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR WET GAS SCRUBBING AND UTILIZATION OF GAS HEAT

Research article

Karev A.N.^{1,*}, Tyurin M.P.²^{1,2} Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

* Corresponding author (alexcarew777[at]yandex.ru)

Abstract

The article presents a detailed analytical review of the main results of the practical application of new devices for cleaning gas emissions providing the design schemes and technical parameters of the device. This review can facilitate the selection of the optimal design of a wet dust collector when designing gas cleaning systems for specific industrial conditions. The study also indicates the design features of the device for wet cleaning of gases that are released into the atmosphere as a result of certain production activities. Also, the study carries out an analysis of the currently used systems of recycling of secondary energy resources.

Keywords: exhaust gases, waste gases of steam generators, wet gas, condensation heat, water heating, waste gas heat recovery, steam boiler, secondary energy resources utilization system, economizer, contact heat exchangers.

Введение

К сожалению не все виды промышленности оказывают благоприятное воздействие на окружающую среду и человека, так, например, процессы деятельности химической и текстильной промышленности могут сопровождаться выделением ядовитых и вредных газов, пыли и пара. И уже наряду с отработанными газами происходит их выброс в атмосферу, при этом отрицательное воздействие на общую экологическую обстановку только удваивается. Именно поэтому значение очистки выбрасываемых газов в процессе промышленной деятельности невозможно недооценить. Самым популярным и наиболее действенным методом очистки от выбросов пыли можно обозначить скрубберный метод очистки воздуха, именно в тот момент, когда устраняемый воздух обладает сравнительно высоким уровнем температуры. К тому же, особенно эффективным направлением по увеличению глубины утилизации теплоты уходящих от теплотехнологических аппаратов влажного газа и газов парогенераторов выступает применение теплоты конденсации водяных паров, которые находятся в них. На территории России одним из приоритетных и перспективных стратегических направлений является энергосбережение. В процессе написания статьи было выполнено исследование методов повышения продуктивности систем, утилизации и очистки выбросных газов на основании построения моделей и последующим их координированием. Задача актуальна в области систем утилизации вторичных энергоресурсов. Кроме того, статья будет содержать анализ таких задач, которые затрагивают устройство оборудования для решения поставленной цели.

Обзор аппаратов мокрой очистки газов

Разработка и модернизация в отношении систем направленных на утилизацию вторичных энергоресурсов обладает эффективной и наибольшей способностью справиться с разрешением вопросов в энергетической отрасли на основании энергосбережения [1].

К тому же данная тенденция развития относится к одной из самых перспективных стратегических направлений нашего государства.

Непосредственно сама утрата теплоты с отходящими продуктами горения образует наибольшее количество тепловых вторичных энергоресурсов парогенераторов. А что касается потери с выбросом влажного газа, который обладает неустойчивым уровнем температуры 120-130°C, в то время как парогенераторы обладая предельным уровнем мощности меньше 0,7 кВт производят выброс дымовых газов при уровне температуры более 200°C – составляет наибольшее количество вторичных энергоресурсов теплотехнологических устройств.

Однако не во всех случаях, при помощи имеющихся способов, возможно уменьшить потерю теплоты, наряду с продуктами сгорания.

Выделим, что касаясь сжигания непосредственно в самих парогенераторах, на основании некоторых признаков, особенно эффективным и продуктивным можно обозначить только газообразное топливо. Данное утверждение вызвано тем, что в результате отсутствия соединений серы, можно охладить продукты сгорания до предельно низкого уровня температуры.

Достоинство применения скрытой теплоты парообразования дымовых газов состоит в том, что можно применить полученный конденсат, что существенно сэкономит воду [2].

Итак, в Таблице 1 обозначим приблизительные условия, для того чтобы предварительно оценить продуктивность и перспективность разнообразных действий в увеличении экономичности в отношении парогенераторов.

Таблица 1 – Приблизительные условия продуктивности и перспективности действий в увеличении экономичности паровых котлов

№	Наименование действий	Сбережение	Условия
1.	Сокращение присоса воздуха в газовом тракте на 0,1	0,5	-
2.	Увеличение коэффициента излишка воздуха в топливнике на 0,1	-	0,7
3.	Увеличение t питательной воды при входе в барабан котлоагрегата на 10°C при $p = 1,3\text{ МПа}$ и $U_{\text{ка}} = 0,8$	2,0	-
4.	Увеличение t питательной воды при входе в экономайзер водяного типа 10°C , при $p = 1,3\text{ МПа}$ и $U_{\text{ка}} = 0,8$	-	0,23 ... 0,24
5.	Нагрев питательной воды в экономайзере водяного типа на 6°C	1,0	-
6.	Сокращение t отходящих газов на 10°C : для сухого топлива ... для влажного топлива	0,6 ... 0,7	-
7.	Устройство поверхностного экономайзера водяного типа	4 ... 7	-
8.	Применение деаэратора вакуумного типа для котельных использующих газообразный вид топлива	1 ... 1,5	-
9.	Изменяемость содержания углекислого газа находящегося в дымовых газах на основании оптимального количества на 1%	-	0,6
10.	Сокращение горючих веществ при уносе их дымовым газом на 1%	0,3 ... 0,7	-
11.	Вторичное применение уноса в топливник	2 ... 3	-
12.	Применение острого типа дутья	2,1 ... 2,7	-
13.	Изменяемость нагрузки котлоагрегата по направлению сокращения от обозначенной на 10 % меняет потерю тепла в атмосферу (для котла $D = \backslash \text{От} / \text{ч}$)	-	0,2
14.	Изменяемость нагрузки котлоагрегата по направлению повышения от обозначенной на 10% повышает потерю тепла с отходящими газами	-	0,5 ... 0,6
15.	Образование накипи на внутренней стороне нагревания размером толщины 1 мм	-	2
16.	Применение парового распыления на мазут находящийся в форсунках	-	2 ... 4
17.	Невозврат конденсата на 1т	-	0,02 т.у.т
18.	Применение неизолированного парового провода при давлении пара 0,5МПа	-	0,4 кг/час. усл.т.
19.	Выделение пара через отверстие размером в 1мм. при $p = 0,7\text{ МПа}$	-	3,6 кг/час. усл.т.
20.	Применение притока теплого воздуха исходящего из верхней зоны котлового зала на каждые 10 000 м ³	0,013 т.у.т.	-
21.	Уменьшение величины продува	0,3	-
22.	Устройство оборудования по обдуву с целью очистки внешних поверхностей нагревания	2 ... 3	-
23.	Функционирование парового котла в режиме уменьшенного давления от 1,3 до 0,5 Мпа	-	6
24.	Автоматизирование процессов сгорания и питания паровых котлов	1 ... 4	-
25.	Ремонт паровых котлов на основании контрольно-измерительных установок не меньше	3 ... 5	-

Применение непосредственно самого теплообменника является достаточно значимым и важным моментом, т.к. именно от его использования зависит, насколько продуктивна будет работа по применению воды, нагрев которой в свою очередь можно выполнить только до конкретного уровня температуры (50 до 60°C)[3].

Также необходимо выделить то, что система по утилизации тепла, находящегося в дымовых газах котельных и типы используемых утилизаторов, выбор которых влияет исходя из источников тепла, возможности применения ресурсов

дымового газа, теплотребителей, типов топлива, структуры дымового газа, обозначающего его агрессивность в отношении устройства котельной.

В целом решение по поводу установки тепловых утилизаторов должно быть основано на обозначении вероятных пользователей вероятного тепла утилизаторов.

Для того чтобы воплотить данное направление в реальность следует выявить определенные потоки воздуха с водой, их степень расходования, а также уровень температуры, до которого возможно нагреть носитель тепла в утилизаторах.

С целью нагрева воды преимущественно низким температурным газом в основном применяются экономайзеры.

Для примера возьмем на рассмотрение блочный контактный экономайзер модели ЭК-БМ1, изображенный на Рисунке 1 [4]. Отметим, что непосредственно сам прибор экономайзер является простым смесительным теплообменником имеющий вид охлаждающей башни.

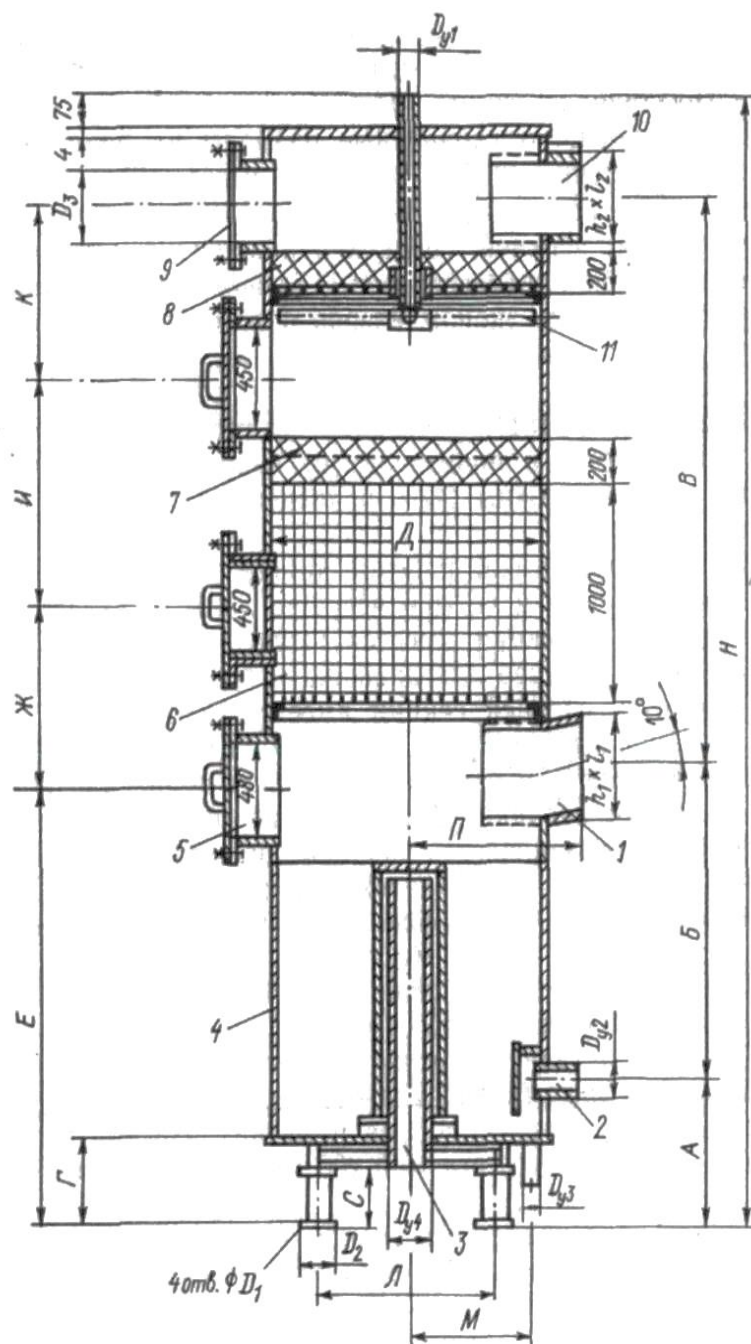


Рис. 1 – Блочный контактный экономайзер модели ЭК-БМ1 [4]:

- 1 – обозначен входной патрубок горячих газов; 2 – штуцер отвода нагретой до необходимой температуры воды;
- 3 – переливной патрубок, его еще называют переливной трубой; 4 – корпус блочного контактного экономайзера;
- 5 – люк; 6 – рабочий ряд кольцевых насадок диаметром 50х50х5 мм., которые выложены слоями; 7 – ряд кольцевых насадок, они выложены не слоями, а навалом; 8 – каплеулавливающий насадочный ряд; 9 – люк – взрывной клапан;
- 10 – патрубок для отведения охлажденных газов; 11 – водораспределитель

Также важно выделить процесс утилизации дымовых газов парового котла, который представлен на Рисунке 2.

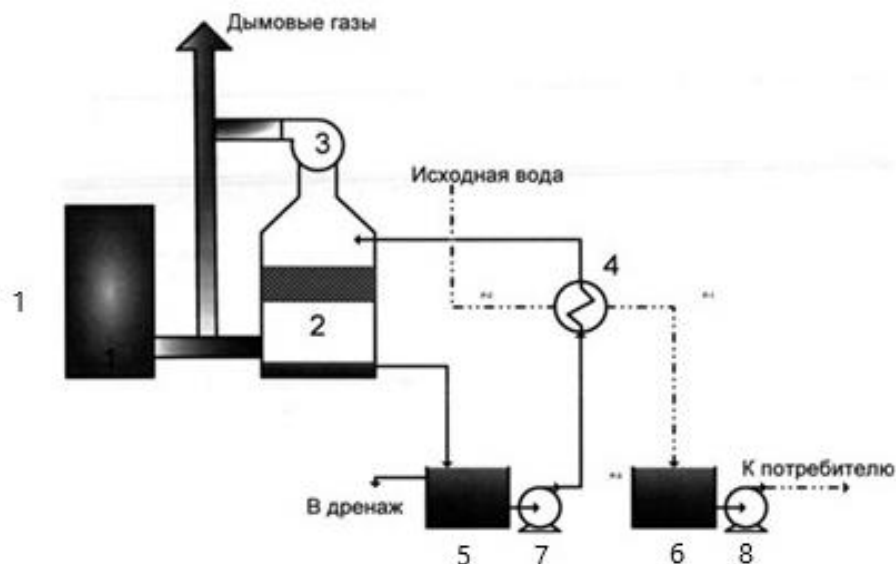


Рис. 2 – Процесс утилизации дымовых газов парового котла [3]:

1 – паровой котел; 2 – контактный экономайзер; 3 – вентилятор; 4 – теплообменник; 5 – бак с орошающей водой; 6 – бак для горячего водоснабжения; 7 – насос циркуляционный; 8 – насос для горячего водоснабжения

Если рассматривать продуктивность представленных контактных экономайзеров, то она зависит от повышения потребления запаса воды. Следовательно, объем нагрева воды данного вида экономайзера должен превосходить потребность химически-очищенной воды в котлах.

Разберем тепловой баланс котла, который функционирует на газе. Так в случае суммирования баланса на основании высокой теплоты горения топлива, баланс отражается следующим уравнением [5]:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_5 \quad (1)$$

в котором q_1 – это полезно воспринятое котлом тепло, q_2 – потеря тепла с отходящими газами, q_3 – потеря тепла с химической неполнотой горения, q_5 – потеря тепла в атмосферу кДж/кг.

Рассматривая тепловой баланс котельных устройств, выделим, что его обозначение выполняется на основании наименьшей теплоты горения топлива [6].

Наиболее значимым фактором, влияющим на определение величины, мощность теплового обмена и тип гидравлического режима можно обозначить фактор скорости контактной камеры.

Существует соотношение от общей мощности передачи тепла к показателю, который имеется у нескольких потоков тепла:

- важность передачи физического тепла дымовых газов применительно к самой воде,
- испаряемость воды,
- процесс конденсации парообразования.

Однако достаточно тяжело выявить предельно конкретные показатели теплового обмена относительно теплообменников и экономайзеров, поэтому выделим наиболее основные из них [7].

Выделим то, что самым основным условием растекания воды, выравнивания колец, которые забрасываются навалом и других факторов, от которых зависит данное состояние, выступает предельная продуктивность насадочных частей больших параметров.

Выявлен показатель, от которого зависит массообмен в случае имеющихся количества точек струй и установленном количестве точек 500 на 1 метр сечения в контактной камере, предоставляющий предельное орошение насадочного ряда.

Параметры данного показателя для точно выложенных колец диаметром 50х50х50 мм. сокращаются при сокращении числа струй от 1 (в случае количества струй не меньше 500) до 0,394 (в случае количества струй равно 5).

Рассмотрим развитие аддитивных особенностей различных технологических процессов при помощи теории цепей Маркова, которая изображена на Рисунке 3 [8]. Данный подход затрагивает все большее внимание в настоящее время в случае разработки математических моделей физико-химических и теплофизических действий.

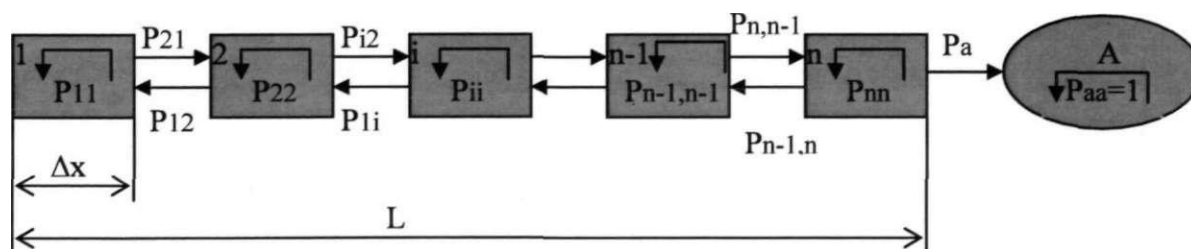


Рис. 3 – Развитие процесса цепью Маркова [8]

Выдающийся ученый Бертъе А. в свое время создал проект стратегии системного анализа [9], где было определено то, что рабочая величина устройства выделяет ячейку, особенности этой ячейки можно более точно обозначить на основании знаний современной эпохи и эмпирической поддержки.

Итак, после того как ячейка выделилась она начинает выполнять свое строение, т.е. образовывается математическая модель. После чего на основе данной математической модели предполагается определенный алгоритм, направленный на сбор математических моделей одиночных ячеек в объединенную модель процесса, непосредственно который и был проанализирован.

Кроме того, можно выделить такие исследования, которые взаимосвязаны с классификацией моделей ячеек на основании системы цепи, переходной матрицы и преобразованием математических моделей [10].

Математическое устройство моделей ячеек является универсальным, к тому же их использование в качестве обозначения определенных действий исходит из того, что выбор величины состояния и выявления сущности переходных возможностей, которые собраны в матрицу.

Заключение

Таким образом, на основании проведенного анализа источников литературы можно выделить то, что модернизация методик и устройств с целью контактного теплового обмена в структуре утилизации тепла уходящего влажного газа теплоприменяющего оборудования предполагает разрешение существующих проблем оборудования.

На основании проведенного исследования можно выделить направления для будущих исследований касательно данной темы:

1. Произвести распознавание параметров касемо математической модели теплового массообмена применительно к контактному теплообменнику, используя экспериментальные показатели и выводы промышленных исследований.
2. Выполнить выбор и доказательство условий оптимальности с целью определения порядка использования контактного теплообменника.
3. Провести моделирование условий использования контактного теплообменника и определить воздействие конструктивных и режимных характеристик процесса в отношении его энергопродуктивности.
4. Выполнить анализ нестационарных условий использования контактных теплообменников на основании вычислительного исследования на созданной компьютерной модели.
5. Произвести разработку компьютерного технического способа по расчету действий теплового массообмена касемо контактных теплообменников с насадкой, которая орошается водой, и определить подходящие эффективные и режимные величины.
6. Выполнить разработку методов оценивания касемо продуктивности применения тепла уходящих влажных газов, которые применяют тепло устройств с целью нагрева воды, которая применяется в технологическом процессе контактных теплообменников.

Финансирование

Грант РФФИ – 20-38-90061 Аспиранты,
№ Договора 20-38-90061\20 от 31.08.2020 г.

Funding

RFBR Grant - 20-38-90061 Postgraduate Students,
Contract no. 20-38-90061\20 dated 31.08.2020.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Драгунов Ю.Г. Аналитический обзор информации по теплофизическим свойствам гелиево-ксеноновой газовой смеси и рекомендации по их расчету / Ю.Г. Драгунов, В.П. Сметанников, Б.А. Габараев и др. М., 2012. С. 15-17.
2. Куликова Т.Н. Моделирование теплоотдачи к газовому теплоносителю с пониженным значением числа Прандтля / Т.Н. Куликова, П.В. Марков, В.И. Солонин // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. №6. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-teplotdachi-k-gazovomu-teplonositelyu-s-ponizhennym-znacheniem-chisla-prandtlya> (дата обращения: 10.01.2021).
3. Марков П. В. К вопросу о численном расчете теплоотдачи от стержневых тепловыделяющих элементов ядерных реакторов ВВЭР / П. В. Марков // Машиностроение и компьютерные технологии. 2014. №11. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-chislennom-raschete-teplotdachi-ot-sterzhnevyyh-teplovyydelayayuschih-elementov-yadernyyh-reaktorov-vver> (дата обращения: 10.01.2021).
4. Д 26 –14 –88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Элементы теплообменных аппаратов.
5. Chen W. Nonlinear vortex-viscous modeling of transition boundary layers related to the aerodynamics of turbomachines / W. Chen // International Journal of Heat and Fluid Flow. 1998. Volume 19, No. 4. pp. 297-306. DOI: 10.1016/S0142-727X(97)10012-1
6. Weigand, B. An Extended Kays and Crawford Turbulent Prandtl Number Model / B. Weigand, J.R. Ferguson, M.E. Crawford // International Journal of Heat Mass Transfer, 1997, volume 40, No. 17, pp. 4191-4196. DOI: 10.1016/S0017-9310(97)00084-7
7. Жуков А.В. Теплообмен и температурные поля твэлов в активных зонах ВВЭР / А.В. Жуков, А.П. Сорокин, Ю.А. Кузина // 5-я Международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР»: матер. ОКБ «Гидропресс», 29 Мая - 1 Июня 2007. ОКБ «ГИДРОПРЕСС»: сайт.
8. Кириллов П. Л. Справочник по теплогидравческим расчетам в ядерной энергетике. Том. 1. Теплогидравлические процессы в ядерных энергетических установках / П. Л. Кириллов, В. П. Бобков, А. В. Жуков. - М.: Изд-во, 2010. - 776 с.
9. Tuncer Cebeci. Analysis of turbulent flows / Tuncer Cebeci // Elsevier Science, 2004. 260 p.
10. STAR-CCM+ version 8.06. [user manual]. CD-adapco Group, 2014.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dragunov Yu. G. Analiticheskij obzor informacii po teplofizicheskim svojstvam gelievo-ksenonovoj gazovoj smesi i rekomendacii po ikh raschetu [Analytical review of information on the thermophysical properties of a helium-xenon gas mixture and recommendations for their calculation] / Yu. G. Dragunov, V. P., B. A. Gabaraev et al. Moscow, 2012, pp. 15-17 [in Russian]
2. Kulikova T. N. Modelirovanie teplootdachi k gazovomu teplonositelju s ponizhennym znacheniem chisla Prandtlja [Modeling of heat transfer to a gas coolant with a reduced value of the Prandtl number] / T. N. Kulikova, P. V. Markov, V. I. Solonin // Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii [Mechanical engineering and computer technologies]. 2015. №6. [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-teplootdachi-k-gazovomu-teplonositelju-s-ponizhennym-znacheniem-chisla-prandtlja> (accessed: 10.01.2021) [in Russian]
3. Markov P. V. K voprosu o chislennom raschete teplootdachi ot sterzhnevyykh teplovydeljajushhikh ehlementov jadernykh reaktorov VVEhR [On the question of numerical calculation of heat transfer from core fuel elements of VVER nuclear reactors] / P. V. Markov // Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii [Mechanical engineering and computer technologies]. 2014. №11. [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-chislennom-raschete-teplootdachi-ot-sterzhnevyyh-teplovydeljajushhikh-elementov-yadernykh-reaktorov-vver> (accessed: 10.01.2021) [in Russian]
4. D 26 -14 -88 Sosudy i apparaty. Normy i metody rascheta na prochnost'. Ehlementy teploobmennyykh apparatov [Vessels and apparatuses. Norms and methods of strength calculation. Elements of heat exchangers] [in Russian]
5. Chen W. Nonlinear vortex-viscous modeling of transition boundary layers related to the aerodynamics of turbomachines / W. Chen // International Journal of Heat and Fluid Flow. 1998. Volume 19, No. 4. pp. 297-306. DOI: 10.1016/S0142-727X(97)10012-1
6. Weigand, B. An Extended Kays and Crawford Turbulent Prandtl Number Model / B. Weigand, J.R. Ferguson, M.E. Crawford // International Journal of Heat Mass Transfer, 1997, volume 40, No. 17, pp. 4191-4196. DOI: 10.1016/S0017-9310(97)00084-7
7. Zhukov A.V. Teploobmen i temperaturnye polja tvehlov v aktivnykh zonakh VVEhR [Heat exchange and temperature fields of fuel elements in VVER active zones] / A. V. Zhukov, A. P. Sorokin, Yu A. Kuzina // 5-ja Mezhdunarodnaja nauchno-tekhnicheskaja konferencija «Obespechenie bezopasnosti AEhS s VVEhR»: mater. OKB «Gidropress» [5th International Scientific and Technical Conference "Ensuring the safety of nuclear power plants with VVER": mater. OKB "Gidropress"], May 29 - June 1, 2007. OKB "GIDROPRESS": website [in Russian]
8. Kirillov P. L. Spravochnik po teplogidravcheskim raschetam v jadernoj ehnergetike. Tom. 1. Teplogidravlicheskie processy v jadernykh ehnergeticheskikh ustanovkakh [Handbook of thermal and hydraulic calculations in nuclear power engineering. Volume 1. Thermohydraulic processes in nuclear power plants] / P. L. Kirillov, V. P. Bobkov, A. V. Zhukov et al. - M., 2010. - 776 p. [in Russian]
9. Tuncer Cebeci. Analysis of turbulent flows / Tuncer Cebeci // Elsevier Science, 2004. 260 p.
10. STAR-CCM+ version 8.06. [user manual]. CD-adapco Group, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.112.10.027>**ПРОБЛЕМЫ ТЛЕЮЩИХ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ В ЛЕСАХ И АРКТИКЕ**

Научная статья

Мокряк А.В.^{1,*}, Парийская А.Ю.²^{1,2} Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (mokryakanna[at]mail.ru)

Аннотация

Лесные пожары можно разделить на два типа: пламенные или тлеющие, в зависимости от преобладающих процессов горения. Оба типа присутствуют в большинстве лесных пожаров, и, несмотря на то, что они принципиально различаются в химическом и физическом плане, один переходит в другой. Тлеющие лесные пожары становятся глобальной проблемой, поскольку они вызывают значительное загрязнение воздуха, выделяют очень большое количество углерода, их трудно обнаружить и потушить. Центральное место в этой теме занимают тлеющие торфяные пожары, которые приводят к одним из крупнейших пожаров на Земле. Тление также преобладает над остаточным горением после того, как пламя погасло. Наконец, тление является важной частью лесных пожаров в Арктике, которые становятся все более частыми. Значительная часть лесных пожаров в Арктике происходит в форме беспламенного горения или тления органических почв и вечной мерзлоты на торфяниках. В данной статье представлен обзор тлеющих лесных пожаров, связанных с ними проблемами окружающей среды, включая изменение климата, а также проблем в области предотвращения и смягчения последствий.

Ключевые слова: лес, пожар, торф, загрязнение, безопасность, выбросы, тушение.

PROBLEMS OF SMOLDERING PEAT FIRES IN FORESTS AND THE ARCTIC

Research article

Mokryak A.V.^{1,*}, Pariyskaya A.Yu.²^{1,2} Saint-Petersburg University of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (mokryakanna[at]mail.ru)

Abstract

Forest fires can be divided into two types: flaming or smoldering, depending on the prevailing combustion processes. Both types are present in most forest fires, and despite the fact that they are fundamentally different chemically and physically, one can pass into the other. Smoldering forest fires are becoming a global problem because they cause significant air pollution, emit very large amounts of carbon, and are difficult to detect and extinguish. The central place in this topic is occupied by smoldering peat fires, which lead to one of the largest fires on Earth. Smoldering also prevails over residual burning after the flame has gone out. Finally, smoldering is an important part of forest fires in the Arctic, which are becoming more frequent. A significant part of forest fires in the Arctic occurs in the form of flameless combustion or smoldering of organic soils and permafrost on peatlands. This article provides an overview of smoldering forest fires, related environmental problems, including climate change, as well as problems in the field of prevention and mitigation of consequences.

Keywords: forest, fire, peat, pollution, safety, emissions, extinguishing.

Лесной пожар - это природное явление, которое взаимодействует с климатом и формирует экосистемы во всем мире. Тлеющее горение - это медленное, низкотемпературное и беспламенное горение твердого топлива с использованием гетерогенной химической кинетики. Огонь, распространяющийся по слою торфа, поддерживается выделением тепла, когда кислород непосредственно взаимодействует с поверхностью частиц почвы. В то время как пламенное горение - это быстрое и высокотемпературное горение газообразного топлива с использованием однородной химической кинетики. Типичная температура тления относительно низкая, около 500 °С. Тлеющий лесной пожар распространяется ползучим способом, обычно около 1 см/ч, что медленнее, чем скорость распространения пламенных пожаров [1].

Тление является наиболее стойким видом горения, потому что его легче воспламенить, но труднее потушить, чем пламенное горение. Лесные пожары в основном разделяются на три формы (рис. 1): (а) подземный (торфяной) пожар, при котором почва горит глубокими слоями в течение длительного периода времени и способствует образованию дымки, (б) низовой горение, при котором горит более густая растительность, и (в) верховой, возгорание охватывает ветви, листья, крону.



Рис. 1 – Формы лесных пожаров:
а – подземный (торфяной) пожар; б – низовой пожар; в – верховой пожар

В результате антропогенных воздействий и изменения климата торфяные пожары возникают с возрастающей частотой во всех регионах, где встречаются гистосолы, от тропических водно-болотных угодий до Арктики [2]. Наиболее пострадавшими экосистемами Европы являются умеренные и бореальные леса России, Британских островов и Скандинавии. Основными причинами пожара являются засухи, осушение, изменения в землепользовании и плотности населения. Другие возможные причины возгорания торфяного пожара могут быть естественными, такими как молния и самовозгорание. Тление является наиболее стойким видом горения, потому что его легче воспламенить, но труднее потушить, чем пламенное горение.

В целом, тлеющие лесные пожары становятся глобальной научной и общественной проблемой из-за их обширного загрязнения воздуха, огромных выбросов углерода и трудностей в тушении.

Торфяники часто содержат высокие уровни грунтовых вод, поэтому торф обычно слишком влажный, чтобы поддерживать горение. Однако уровень грунтовых вод на торфяниках может снижаться, а содержание влаги в органических почвах является единственным наиболее важным свойством, определяющим возгорание и распространение торфяных лесных пожаров. Например, критическое содержание влаги для воспламенения типичных образцов бореального торфа было измерено на уровне около 125% в сухом основании, где содержание минеральных веществ в почве меньше, чем 10%. Тлеющие пожары распространяются горизонтально и вертикально через органические слои почвы и могут проникать глубоко в почву, где существуют большие трещины или естественные системы трубопроводов [4].

Обнаружение торфяных пожаров со спутника является сложной задачей, поскольку пожар может быть частично подземным, а излучающая сигнатура отличается и слабее, чем от пламени. Глубокие торфяные лесные пожары могут происходить даже на глубине нескольких метров. После воспламенения они особенно трудно гаснут и могут сохраняться в течение длительных периодов времени (месяцы, годы), распространяясь глубоко под землей и на обширных территориях. Для большинства мега-пожаров на торфяниках тушение пожаров водой является очень сложной задачей из-за большого количества необходимой воды. Строительство траншеи в качестве противопожарной защиты является эффективным способом остановить их распространение, особенно там, где водные ресурсы ограничены.

Арктические лесные пожары увеличились в 2020 году на 35% по сравнению с предыдущим годом и вызвали рекордные выбросы углерода с 66 млн до 143 млн т углерода, выброшенного в атмосферу [3], [4] (рис. 2).

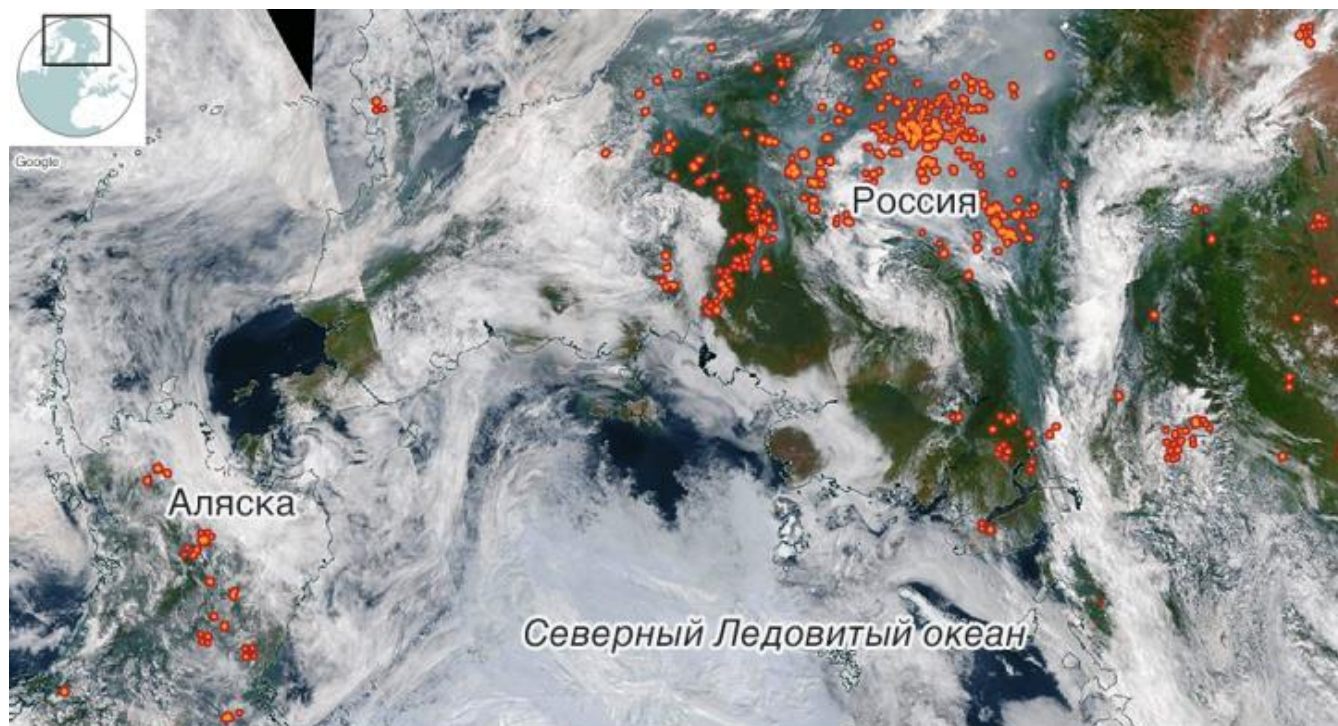


Рис. 2 – Лесные пожары в Арктике и вокруг нее, включая Сибирь, Аляску, Гренландию и Канаду

Зимой в холодных регионах, таких как Арктика и бореал, тлеющие пожары все еще могут распространяться в слоях почвы и оставаться незамеченными в качестве горячих точек, покрытых снегом, и лабораторные эксперименты показали, что тлеющий торфяной пожар может даже выжить при температуре ниже -35°C [5]. Эти зимующие лесные пожары проходят четыре стадии. В теплое лето и пламя, и тление являются частью лесного пожара. Пламя лесных пожаров будет потушено дождем, холодной погодой или пожарами. Тем не менее, очаги тления могут сохраняться глубоко в гистосоле и не гаситься водой или зимой из-за эффекта изоляции верхнего слоя почвы и снежного покрова. Весной зимующие костры могут увеличиваться в размерах и быстро распространяться, чему способствуют сухие условия и более теплые температуры. Они могут даже снова вспыхнуть на поверхности вблизи места, где были потушены прошлогодние лесные пожары [6], [7].

Арктика уже прогревается быстрее, чем в среднем по миру [4], [8]. Средние температура почвы повышаются, а таяние вечной мерзлоты ускоряется. Это делает органическое вещество в почве уязвимым для лесных пожаров впервые за очень долгое время, даже за тысячелетия. Сжигание этого гистосоля в тлеющем лесном пожаре высвобождает углерод, способствуя изменению климата и ухудшая экосистему.

После возгорания торфяные пожары особенно трудно потушить, и они могут сохраняться в течение длительного периода времени (от недель до месяцев), распространяясь на обширные территории. Однако лучшим способом смягчения последствий пожаров является предотвращение, в том числе и тления. Например, поддерживать влажность органических почв, избегать дренажа и избегать источников возгорания вблизи сухой земли. Когда предотвращение не удастся, обнаружение, мониторинг и тушение становятся приоритетными. Важным фактором, способствующим внедрению новых технологий, было бы расширение масштабов лабораторных исследований до полевых масштабов и нацеливание на реальное явление.

Тлеющее горение является важной частью лесных пожаров, особенно при пожарах на торфяниках, остаточном горении. Тлеющие лесные пожары увеличивают экономические потери, наносят ущерб экосистемам и выделяют много углерода.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бондур В.Г. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф / В.Г. Бондур, В.Ф. Крапивин, В.П. Савиных. - М.: Научный мир, 2009. - 692 с.
2. Turetsky M.R. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss / M.R. Turetsky, B. Benscoter, S. Page et al. // Nature Geoscience, 8 (2015), pp. 11-14 9.
3. McCarty J.L. Arctic fires re-emerging / J.L. McCarty, T.E.L. Smith, M.R. Turetsky // Nature Geoscience, 13 (2020), pp. 658-660
4. Stracher G.B. Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe / G.B. Stracher, T.P. Taylor // International Journal of Coal Geology, 59 (2004), pp. 7-17
5. Lin S. Climate-induced Arctic-boreal peatland fire and carbon loss in the 21st century / S. Lin, Y. Liu, X. Huang // Science of The Total Environment (2021)
6. Witze A. The Arctic is burning like never before — and that's bad news for climate change / A. Witze // Nature, 585 (2020), pp. 336-337

7. Кудрин А. Ю. Современные методы обнаружения и мониторинга лесных пожаров / А. Ю. Кудрин, А. И. Запорожец, Ю. В. Подрезов // Технологии гражданской безопасности. Выпуск № 4 / том 3 / 2006/.

8. Ершов Д.В. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров / Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин, Е.А. Лупян и др. // 34 Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2004. Выпуск 1. Т.1. С.47-57.

9. Замолодчиков Д.Г. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России / Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, П.П. Шуляк и др. // Лесоведение. - 2013. - № 5. - С. 36-49.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bondur V. G. Monitoring i prognozirovanie prirodnykh katastrof [Monitoring and forecasting of natural disasters] / V. G. Bondur, V. F. Krapivin, V. P. Savinykh. - Moscow: Scientific World, 2009. - 692 p. [in Russian]

2. Turetsky M.R. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss / M.R. Turetsky, B. Benscoter, S. Page et al. // Nature Geoscience, 8 (2015), pp. 11-14 9.

3. McCarty J.L. Arctic fires re-emerging / J.L. McCarty, T.E.L. Smith, M.R. Turetsky // Nature Geoscience, 13 (2020), pp. 658-660

4. Stracher G.B. Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe / G.B. Stracher, T.P. Taylor // International Journal of Coal Geology, 59 (2004), pp. 7-17

5. Lin S. Climate-induced Arctic-boreal peatland fire and carbon loss in the 21st century / S. Lin, Y. Liu, X. Huang // Science of The Total Environment (2021)

6. Witze A. The Arctic is burning like never before — and that's bad news for climate change / A. Witze // Nature, 585 (2020), pp. 336-337

7. Kudrin A. Yu. Sovremennye metody obnaruzheniya i monitoringa lesnykh pozharov [Modern methods of detection and monitoring of forest fires] / A. Yu. Kudrin, A. I. Zaporozhets, Yu. V. Podrezov // Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti [Technologies of civil safety]. Issue No. 4 / volume 3 / 2006/ [Electronic resource] [in Russian]

8. Ershov D. V. Rossijskaja sistema sputnikovogo monitoringa lesnykh pozharov [The Russian system of satellite monitoring of forest fires] / D. V. Ershov, G. N. Korovin, E. A. Lupyan, et al. // 34 Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [34 Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2004. Issue 1. Vol. 1, pp. 47-57 [in Russian]

9. Zamolodchikov D. G. Vlijanie pozharov i zagotovok drevesiny na uglerodnyj balans lesov Rossii [The influence of fires and wood harvesting on the carbon balance of Russian forests] / D. G. Zamolodchikov, V. I. Grabovsky, P. P. Shulyak et al. // Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]. - 2013. - No. 5. - pp. 36-49 [in Russian]