

№ 1 (91) ▪ 2020  
Часть 1 ▪ Январь

---

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

**ISSN 2303-9868 PRINT  
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург  
2020



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](mailto:editors@research-journal.org)  
Сайт: [www.research-journal.org](http://www.research-journal.org)  
16+

**№ 1 (91) 2020  
Часть 1  
Январь**

---

Дата выхода 17.01.2020  
Подписано в печать 12.01.2020  
Тираж 200 экз.  
Цена: бесплатно.  
Заказ 298935.  
Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Отпечатано в типографии "А-принт".  
620049, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского, д. 1.

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: **ПН № ФС 77 – 51217.**

#### **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.н. 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);  
*Шеуджен А.Х.* д-р биол. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);  
*Ларионов М.В.* д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, 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.н. ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, 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 г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);  
Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);  
Ерғашев 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:**

Бурда А.Г. д-р экон. наук, проф., Кубанский Государственный Аграрный Университет (Краснодар, Россия);  
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 (Курс, 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).

**Екатеринбург  
2020**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

---

Сариев А.Д., Шыганакоева А.Т., Сариев С.Д., Сайдолкызы Ж., Хазтурганова Ж.Н., Мукашева Б.Б.  
НЕПРЕРЫВНОСТЬ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЙ..... 6

Майор А.Ю., Проценко Д.Ю., Мирочник А.Г., Федоренко Е.В.  
ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА ДОПИРОВАНОГО  $\beta$  -  
ДИКЕТОНАТАМИ ДИФТОРИДА БОРА ..... 12

---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

---

Крукович М.Г., Федотова А.Д.  
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОСТИ СИЛИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ ..... 18

Мукаева В.Р., Фаррахов Р.Г., Лазарев Д.М., Горбатков М.В., Парфенов Е.В.  
ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПЭО-ПОКРЫТИЙ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ,  
ПОЛУЧЕННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ..... 22

Панин Д.Н., Гурьев Г.И., Пожидаев И.В., Яковлев С.А.  
СРАВНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СНИМКОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ  
И ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ ..... 26

Кузнецова А.И., Медведева Г.А.  
ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ – ВАЖНЕЙШИЙ ЗАКОН ПРИРОДЫ..... 30

Тавасиев Д.А., Команов П.А., Ревазов Х.Ю., Семиков В.С.  
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ ВО ВСТРОЕННОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ  
ИУТ УСТРОЙСТВ..... 34

Федотов В.А., Лукьянова Е.С.  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
КАЧЕСТВ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ..... 38

Атабиев У.И., Тезадова О.А.  
АНАЛИЗ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ИЗ-ПОД ВОДОБОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОМЕМБРАНЫ  
В ОСНОВАНИИ..... 42

---

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

---

Арестова И.Ю., Опекунова М.Г., Елсукова Е.Ю., Кукушкин С.Ю.  
ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ КОСТОМУКШСКОГО РЕГИОНА ПОД  
ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА ..... 48

Панин Д.Н., Карягина М.В., Малахова Д.С., Салмина Я.А.  
ОПЫТ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В СФЕРЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ  
ЗЕМЛИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ..... 53

Волосухин Я.В.  
СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ОТКОСОВ ПЛОТИНЫ И ДАМБЫ БАХЧИСАРАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В  
КРЫМУ..... 57

---

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

---

Еремеева Ж.В., Воротыло С., Бардасова К.В., Саенко А.А.  
ФАЗООБРАЗОВАНИЕ ПРИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ ГАФНАТОВ ЕВРОПИЯ И ЛАНТАНА: АВ  
INITIO МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ..... 63

---

## МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

---

Третьякова О.С., Белобородова А.В., Гречка П.С.  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИВИТИЯ ДЕТЕЙ И ОТНОШЕНИЯ РОДИТЕЛЕЙ К  
ВАКЦИНОПРОФИЛАКТИКЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕСТА ПРОЖИВАНИЯ..... 69

Корепанов А.Л.  
ВЕГЕТАТИВНЫЙ ГОМЕОСТАЗ И ФИЗИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТУДЕНТОВ..... 73

Бердиева Р.Р., Мамытова А.Б.  
АНАЛИЗ ОШИБОК ПЕРВИЧНОГО ЭНДОДОНТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ЗУБОВ С ХРОНИЧЕСКИМ  
ПЕРИОДОНТИТОМ..... 79

Чечулин Е.С.  
ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНИ ЖЕЛУДКА И ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ В  
ИСТОРИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ..... 83

Гусев Е.М. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ «ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ» В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	87
Кирейчева Л.В., Асканбек А.А., Нурабаев Д.М. РАСЧЕТ КОНТУРОВ УВЛАЖНЕНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПОЛИВНОЙ НОРМЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ ПЛОДОНОСЯЩЕГО САДА В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ.....	100
Коротких Ю.О. СОДЕРЖАНИЕ АМИНОКИСЛОТ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ СТРАУСОВ.....	105
Семенова Е.И., Титова В.И., Митянин И.О. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ ПОСЛЕ РАСПАШКИ ЗАЛЕЖИ ПЕРВОЙ СТАДИИ СУКЦЕССИИ .....	108

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.001>

## НЕПРЕРЫВНОСТЬ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЙ

Научная статья

Сариев А.Д.<sup>1</sup>, Шыганакова А.Т.<sup>2,\*</sup>, Сариев С.Д.<sup>3</sup>, Сайдолқызы Ж.<sup>4</sup>, Хазтурганова Ж.Н.<sup>5</sup>, Мукашева Б.Б.<sup>6</sup><sup>1, 2, 4, 5</sup> Атырауский государственный университет, Атырау, Казахстан;<sup>3</sup> Международный казахско-турецкий университет, Туркестан, Казахстан;<sup>1, 2</sup> Школа – лицей №38, Атырау, Казахстан

\* Корреспондирующий автор (ainagul-81-81[at]mail.ru)

## Аннотация

Теория обратных задач для уравнения переноса частиц является одной из быстро развивающихся областей современной математики. В этой статье рассматриваются вопросы непрерывности решения обратных задач для уравнения переноса излучения в многозонных областях из  $R$ . В действительности изучены обратная задача для нестационарного уравнения переноса излучения, состоящую одновременно нахождения коэффициента рассеяния  $\sigma_s$  и интенсивности излучения  $u$ . В этом случае достаточно доказать непрерывности решения обратной задачи из  $R$  относительно дополнительной информации. В предлагаемой статье изучаются локальные свойства классических решений односкоростного нестационарного уравнения переноса, рассматриваемого в многозонной области.

**Ключевые слова:** вопросы существования и единственности, односкоростное нестационарное уравнение, дополнительное условие, вопросы непрерывности решения, многозонная область из  $R$ , пространство кусочно-непрерывных функций.

## CONTINUITY OF SOLUTION OF INVERSE PROBLEMS FOR THE EQUATION OF RADIATION TRANSFER

Research article

Sariev A.D.<sup>1</sup>, Shyganakova A.T.<sup>2,\*</sup>, Sariev S.D.<sup>3</sup>, Saydolkyzy Zh.<sup>4</sup>, Khazturganova Zh.N.<sup>5</sup>, Mukasheva B.B.<sup>6</sup><sup>1, 2, 4, 5</sup> Atyrau State University, Atyrau, Kazakhstan;<sup>3</sup> International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan;<sup>1, 2</sup> Lyceum School No.38, Atyrau, Kazakhstan

\* Corresponding author (ainagul-81-81[at]mail.ru)

## Abstract

The theory of inverse problems for the particle transport equation is one of the rapidly developing areas of modern mathematics. This article discusses the continuity of the solution of inverse problems for the radiative transfer equation in multi-zone regions from  $R$ . In fact, the inverse problem is studied for the non-stationary radiative transfer equation, which consists in simultaneously finding the scattering coefficient  $\sigma_s$  and radiation intensity  $u$ . In this case, it suffices to prove the continuity of the solution of the inverse problem from  $R$  with respect to additional information. In this paper, we study the local properties of the classical solution of the single speed time-dependent equation considered in a multi-zone domain.

**Keywords:** questions of existence and uniqueness, single speed time-dependent equation, additional condition, questions of solution continuity, a multi-zone domain from  $R$ , space of piecewise continuous functions.

Теория переноса – одна из важных областей современной науки, которая быстро развивается на основе достижений теоретической и математической физики.

Прикладная важность обратных задач для интегро-дифференциальных уравнений настолько велика, что они становятся в ряд актуальнейших проблем современной математики.

Обратные задачи возникают при исследовании реальных физических явлений в случаях, когда требуется определить некоторую характеристику рассматриваемого процесса, непосредственное измерение которой затруднительно или невозможно, по её косвенным проявлениям, т.е. по тем характеристикам явления, которые доступны непосредственному измерению.

В предложенной статье рассматриваются вопросы непрерывности решения обратных задач для уравнения переноса излучения в многозонных областях из  $R$ .

Рассматривается обратная задача для нестационарного уравнения переноса излучения, состоящая в одновременном нахождении коэффициента рассеяния  $\sigma_s$  и интенсивности излучения  $u$ .

В предлагаемой статье изучаются локальные свойства классических решений односкоростного нестационарного уравнения переноса, рассматриваемого в многозонной области.

В этом случае достаточно доказать непрерывности решения обратной задачи из  $R$  относительно дополнительной информации.

В многозонной области  $G = U_{j-1}^j G_j$ ,  $G_j = (H_{j-1}, H_j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, j$  рассматривается обратная задача для нестационарного уравнения переноса излучения, состоящую в одновременном нахождении коэффициента рассеяния  $\sigma_s$  и интенсивности излучения  $u$  из условий прямой задачи, т.е. уравнения [3]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u(t, x, \mu)}{\partial t} + \mu \frac{\partial u(t, x, \mu)}{\partial x} + \sigma(x)u(t, x, \mu) = \\ & = 2^{-1} \sigma_s(x) \int_{-1}^{+1} \gamma(\mu, \mu') u(t, x, \mu) d\mu' + f(t, x, \mu) \end{aligned} \quad (1)$$

Для  $(t, x, \mu) \in (0, T) \times G \times \Lambda$ ,  
начального условия

$$u(0, x, \mu) = \Phi(x, \mu), \quad (x, \mu) \in G \times \Lambda \quad (2)$$

краевых условий на внешней границе  
 $u(t, H_0, \mu) = 0, \mu > 0, t \in (0, T)$

$$u(t, H_j, \mu) = 0, \quad \mu < 0, \quad t \in (0, T) \quad (3)$$

и на границе раздела зон

$$\lim_{t \rightarrow t_j^*(t, x, \mu)+0} u(t, x - \mu(t - \tau), \mu) = \lim_{t \rightarrow t_j^*(t, x, \mu)-0} u(t, x - \mu(t - \tau), \mu) \quad (4)$$

для любых  $(t, x, \mu) \in (0, T) \times G \times \Lambda$ ,  $j = 2, 3, \dots, M$  а также условий переопределения

$$\begin{aligned} & \Gamma u(P_j) = - \int_{-1}^0 \mu u(P_j, \mu) d\mu = A_j \\ & P_j = (t_j, H_0); \quad H_{j-1} - H_0 < t_j \leq H_j - H_0; \quad j = 1, 2, \dots, J \end{aligned} \quad (5)$$

Будем говорить, что выполнены условия **A**:  
Если

$$\begin{aligned} & \sigma(x) \in C(\tilde{G}_j), \Phi(x, \mu) \in C(\tilde{G}_j \times \Lambda), \\ & f(t, x, \mu) \in C(\tilde{G}_j \times \Lambda) \\ & \gamma(\mu, \mu') \in C(\Lambda \times \Lambda), \quad \gamma \geq 0, \int_{-1}^0 \gamma(\mu, \mu') d\mu' \geq \alpha > 0, 2^{-1} \int_{-1}^{+1} \gamma(\mu, \mu') d\mu' = 1 \end{aligned}$$

при всех  $j \in M_j$ .

Наконец, в многозонной области  $G = \bigcup_{j=1}^J G_j$ ,  $G_j = (H_{j-1}, H_j)H_0$ ,  $H_j = H$  рассмотрим обратную задачу состоящую в нахождении пары  $\{\tilde{U}; \tilde{\delta}\}$  из условия прямой задачи (1)-(4) и данной из систем дополнительных условий (5), либо (6).

**Определение 1.** Задачу определения пары  $\{\tilde{U}; \tilde{\delta}\}$  из условий прямой задачи (1)-(4) и дополнительной информации при заданных  $\delta, g, A, f, j = \overline{1, j}$  – назовем задачей I (задачей I).

**Определение 2.** Пару  $\{\tilde{U}; \tilde{\delta}\}$  назовем решением  $p$ -го этапа задачи II (задачи II) из класса  $R$ , если  $\delta \in \tilde{R}_j$ , функция  $U = U\delta$  является решением прямой задачи (1)-(4) и удовлетворяет первым  $p$ -дополнительным условиям (5) (условиям (6)),

$$\begin{cases} U(t_i, 0, \mu) = A_i, \mu_i < 0, \\ H_{i-1} < \mu_i t_i, \quad t_i < H_i, \quad i = \overline{1, p} \end{cases} \quad \begin{cases} \Gamma U(t_i, 0) = A_i \\ H_{i-1} < t_i < H_i, \quad i = \overline{1, p} \end{cases}$$

а функция  $\delta(x)$ , кроме того удовлетворяет неравенствам (7).

**Определение 3.** Пару  $\{\tilde{U}; \tilde{\delta}\}$  назовем решением задачи II (задачи II) из класса  $R$ , если  $\delta \in \tilde{R}_j$  а функция  $U = U\delta$  является решением прямой задачи (1)-(4) и удовлетворяет дополнительным условиям (5) (условиям (6)), а функция  $\delta(x)$ , кроме того удовлетворяет неравенствам (7).

Справедлива следующая [4]

**Теорема 1.** Пусть выполнены условия  $B, \phi \geq 0, f \geq 0, A_j > 0, j = \overline{1, j}$ , тогда для существования и единственности решения задачи I из класса  $R$  необходимо и достаточно выполнения следующей последовательности неравенств:

$$\begin{aligned} U\bar{x}(t_1, 0, \mu_1) &\geq A_1 \geq U\bar{x}_2(t_1, 0, \mu_1), \\ U\bar{x}_2(t_2, 0, \mu_2) &\geq A_2 \geq U\bar{x}_4(t_2, 0, \mu_2), \\ U\bar{x}_{2j-1}(t_j, 0, \mu_j) &\geq A_j \geq U\bar{x}_{2j-1}(t_j, 0, \mu_j) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= \{\delta_{sM}^1, \delta_{j-1}^*\}, \bar{x}_2 = \bar{\delta}_j^*, \bar{x}_3 = \{\delta_s^1, \delta_{sM}^2, \delta_{j-2}^*\}, \bar{x}_4 = \{\delta^1, \delta_{j-1}^*, \dots, \bar{x}_{2j-1} = \{\delta_1, \dots, \delta^{j-1}, \delta_{sM}^j\}, \\ \bar{x}_{2j} &= \{\delta^1, \dots, \delta^{j-1}, \delta^*\}, \delta^1, \dots, \delta^j \end{aligned}$$

первые  $j$  - компонент вектора  $\bar{\delta}(j)$ , который совместно с  $U\bar{\delta}(j)$  – является решением  $j$ -го этапа задачи I (задача I).

Причем первые  $j$  – компонент вектора  $\bar{\delta}(j)$  – определяются однозначно, а первые  $j-1$  компоненты этого вектора совпадают с соответствующими компонентами вектора  $\bar{\delta}(j-1)$ .

Справедлива следующая [1]

**Теорема 2.** Пусть выполнены условия  $A, \Phi \geq 0, f \geq 0, A_j > 0, j \in M_j$ , то для существования решения обратной задачи (1)-(5) из класса  $R$  необходимо и достаточно выполнения следующей цепочки неравенств

$$\begin{aligned} \Gamma u_{k1}(P_1) &\leq A_1 \leq \Gamma u_{k2}(P_1) \\ \Gamma u_{k3}(P_2) &\leq A_2 \leq \Gamma u_{k4}(P_2) \\ \Gamma u_{k2j-1}(P_j) &\leq A_j \leq \Gamma u_{k2j}(P_j), \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} k_1 &= \theta_j, k_2 = (\sigma_m^1, \theta_j), k_3 = (\sigma_s^1, \theta_{j-1}), \\ k_4 &= (\sigma_s^1, \sigma_m^2, \theta_{j-2}), \dots, k_{2p-1} = (\sigma_s^1, \dots, \sigma_s^p, \theta_{j-p}), \\ k_{2p} &= (\sigma_s^1, \dots, \sigma_s^p, \theta_{j-2}), \dots, \end{aligned}$$

$\sigma_s^1, \sigma_s^2, \dots, \sigma_s^p$  – первые  $p$  компонент вектора  $\sigma_s(p)$ , который совместно с функцией  $u_{\sigma_s(p)}$  образуют решение  $p$ -го этапа обратной задачи (1)–(5) из класса  $R$ , причем первые  $p$  компонент вектора  $\sigma_s(p)$  определяются однозначно, а первые  $p-1$  компонент этого вектора совпадают с первыми  $(p-1)$  компонентами вектора  $\sigma_s(p-1)$ , которая совместно с функцией  $u^{\sigma_s(p-1)}$  образуют решение  $(p-1)$ -го этапа обратной задачи (1)–(5) из класса  $R$ .

Пусть пара  $(u; \bar{\sigma}_s) \in R$  является решением обратной задачи (1)-(5), а пара  $(\tilde{u}; \tilde{\sigma}_s) \in R$  такова, что  $(\tilde{u} = \tilde{u}\tilde{\sigma}_s)$  – является решением прямой задачи (1)-(4) с коэффициентом рассеяния равным  $\sigma_s \in \tilde{R}^J, 0 \leq \tilde{\sigma}_s \leq \sigma$  и удовлетворяет дополнительным условиям

$$\Gamma \tilde{u}(P_j) = \tilde{A}_j, H_{j-1} - H_0 < t_j \leq H_j - H_0; \quad (7)$$

для всех  $j \in M_j$ .

Если выполнены условия  $A, \Phi \geq 0, f \geq 0, \tilde{A}_j > 0$ , то в силу известной теоремы [6] справедлива следующая цепочка неравенств

$$\begin{aligned} \Gamma u_{\tilde{k}1}(P_1) &\leq \tilde{A}_1 \leq \Gamma u_{\tilde{k}2}(P_1) \\ \Gamma u_{\tilde{k}3}(P_2) &\leq \tilde{A}_2 \leq \Gamma u_{\tilde{k}4}(P_2) \\ \Gamma u_{\tilde{k}2j-1}(P_j) &\leq \tilde{A}_j \leq \Gamma u_{\tilde{k}j}(P_j), \end{aligned} \quad (8)$$

где



$$\tilde{k}_1 = \theta_j, \tilde{k}_2 = (\sigma_m^1; \theta_j), \tilde{k}_3 = (\tilde{\sigma}_3^1; \theta_{j-1}), \tilde{k}_4 = (\tilde{\sigma}_3^1; \sigma_m^2; \theta_{j-2}), \dots, \tilde{k}_{2j-1} = (\tilde{\sigma}_3^1; \dots; \sigma_s^{j-1}; \theta_{j-1})$$

$$\tilde{k}_{2j} = (\tilde{\sigma}_s^1; \sigma_s^2; \dots; \tilde{\sigma}_s^{j-1}; \sigma_s^j), \text{ где } (\tilde{\sigma}_s^1; \sigma_s^2; \dots; \tilde{\sigma}_s^{j-1}; \sigma_m^j)$$

– первые  $p$  компоненты вектора  $\tilde{\sigma}_s(p)$ , который совместно с функцией  $u_{\tilde{\sigma}_s(p)}$  образует пару из  $R$ , являющуюся решением  $p$ -того этапа обратной задачи (1)-(4), (7).

Справедлива следующая (основной результат статьи)

**Теорема 3.** Пусть выполнены условия  $A, \Phi \geq 0, f \geq 0, A_j > 0, \tilde{A}_j > 0, j \in M_j$ , а также неравенство (8), (13) и пусть

$$\max_{j \in M_j} |A_j - \tilde{A}_j| \leq \varepsilon \quad (9)$$

тогда справедливы оценки

$$\max_{j \in M_j} |\sigma_s^j - \tilde{\sigma}_s^j| \leq C_2 \varepsilon \quad (10)$$

$$\max_{j \in M_j} \sup_{\tilde{D}_j \times \wedge} |u - \tilde{u}| \leq C_3 \varepsilon \quad (11)$$

где  $C_2, C_3$  - некоторые постоянные не зависящие от  $\varepsilon$ .

**Доказательство.** Пусть пары  $\{u, \tilde{\sigma}_s\} u \{\tilde{u}, \tilde{\sigma}_s\}$ , где  $\sigma_s = (\sigma_s^1, \sigma_s^2, \dots, \sigma_s^J)$ ,  $(\tilde{\sigma}_s = (\tilde{\sigma}_s^1, \tilde{\sigma}_s^2, \dots, \tilde{\sigma}_s^J))$ , являются решениями из  $R$  обратных задач (1)-(5) и (1)-(4), (7), соответственно.

Докажем, что для любого  $p \in M_j$ , справедлива оценка

$$\max_{j \in M_j} |\sigma_s^j - \tilde{\sigma}_s^j| \leq C_4 (1 + C_1 C_4)^{p-1} \varepsilon \quad (12)$$

где

$$C_4 = \frac{8 \exp(\sigma T)}{f_m} \max_{p \in M_j} \frac{[t_p - (H_{p-1} - H_0)]}{[t_p + (H_{p-1} - H_0)]^3}; \quad f_m = \min_{j \in M_j} \inf_{\tilde{G}_j \times \wedge} f > 0$$

Положим для определенности, что  $A_1 \geq \tilde{A}_1$ , тогда в силу известной леммы [7]  $\sigma_s^1 \geq \tilde{\sigma}_s^1$  и разность  $u_1 = u_{\sigma_s(1)} - u_{\tilde{\sigma}_s(1)}$  неотрицательная, поскольку  $\sigma_s(1) > \tilde{\sigma}_s(1)$ . Для  $u_1$  справедливо равенство

$$\begin{aligned} \mathcal{A}_1(\tau, H_0 \mu) &= \frac{1}{2} \int_{t_1^*(t_1, H_0, \mu)}^{t_1^1} \sigma_s(1)(H_0 - \mu(t_1 - \tau)) \int_{-1}^1 \gamma(\mu, \mu') \\ &\quad \mathcal{A}_1(\tau, H_0 - \mu(t_1 - \tau), \mu') \exp \left\{ - \int_{\tau}^{t_1^1} \sigma(H_0 - \mu(t_1 - \tau')) d\tau' \right\} d\tau + \\ &\quad + \frac{1}{2} \int_{t_1^*(t_1, H_0, \mu)}^{t_1^1} [\sigma_s(1)(H_0 - \mu(t_1 - \tau)) - \tilde{\sigma}_s(1)(H_0 - \mu(t_1 - \tau))] d\tau \\ &\quad \int_{-1}^1 \gamma(\mu, \mu') \mu_{\sigma_s(1)}(\tau, H_0 - \mu(t_1 - \tau), \mu') d\mu' \exp \left\{ - \int_{\tau}^{t_1^1} \sigma(H_0 - \mu(t_1 - \tau')) d\tau' \right\} d\tau \end{aligned} \quad (13)$$

Поэтому, умножив равенство (13) на  $-\mu$  и проинтегрировав по  $\mu$  от  $-1$  до  $0$ , а также учитывая неотрицательность первого члена правой части равенства (13) и функцию  $\Phi$ , учитывая неравенство (7) и условия (5), (7) приходим к неравенству

$$\begin{aligned} A_1 - \tilde{A}_1 &\geq -\frac{1}{2} (\sigma_s^1 - \tilde{\sigma}_s^1) f_m \int_{-1}^0 \mu d\mu \int_0^{t_1^1} \exp(-\sigma(t_1 - r)) d\tau \int_{-1}^0 \gamma(\mu, \mu') d\mu' \\ &\quad \int_0^{\tau} \exp(-\sigma(\tau - \tau')) d\tau' \geq \frac{1}{8} f_m \bar{\sigma} \exp(-\tilde{\sigma} t_1) t_1^2 (\sigma_s^1 - \tilde{\sigma}_s^1) \end{aligned}$$

Откуда

$$0 \leq \sigma_s^1 - \tilde{\sigma}_s^1 \leq \frac{8 \exp(\bar{\sigma} t_1)}{f_m a t_1^2} (A_1 - \tilde{A}_1) \leq C_4 \varepsilon.$$

И оценка (12) доказана для  $p = 1$ .

Пусть оценка (12) имеет место для  $(p-1)$ , т.е.

$$\max_{j \in M_{p-1}} |\sigma_s^j - \tilde{\sigma}_s^j| \leq C_4 (1 + C_1 C_4)^{p-2} \varepsilon \quad (14)$$

Докажем, что оценка имеет место и при  $p$ .

Из леммы [8] следует, что пары  $\left\{ u_{\sigma_s(p)}; \sigma_s(p) \right\}$  и  $\left\{ u_{\tilde{\sigma}_s(p)}; \tilde{\sigma}_s(p) \right\}$ ,

где  $\sigma_s(p) = (\sigma_s^1, \sigma_s^2, \dots, \sigma_s^p, 0, \dots, 0)$  и  $\tilde{\sigma}_s(p) = (\tilde{\sigma}_s^1, \tilde{\sigma}_s^2, \dots, \tilde{\sigma}_s^p, 0, \dots, 0)$ , являются решениями из  $R_p$  – того этапа задач (1)-(5) и (1)-(4), (7), соответственно.

Введем вектор  $\tilde{\sigma}_s(p) = (\sigma_s^1, \sigma_s^2, \dots, \tilde{\sigma}_s^p, 0, \dots, 0)$ . В силу леммы [6] пара  $\left\{ u_{\sigma_s(p)}; \sigma_s(p) \right\}$  является решением из  $R_{(p-1)}$ -го этапа обратных задач (1)-(5). Обозначим

$$\Gamma u_{\sigma_c(p)}(P_p) = A_p^c \quad (15)$$

В силу леммы [6], [7], [8] и оценки (12)

$$|\tilde{A}_p - A_p^c| \leq C_1 \max_{j \in M_{p-1}} |\sigma_s^j - \tilde{\sigma}_s^j| \leq C_1 C_4 (1 + C_1 C_4)^{p-2} \varepsilon \quad (16)$$

Примем для определенности  $A_p^c \geq A_p$ , тогда в силу леммы [7]  $\tilde{\sigma}_s^p \geq \sigma_s^p$  и разность  $u_p = u_{\sigma_c(p)} - u_{\sigma_s(p)}$  неотрицательна. Для  $u_p$  справедливо неравенство

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_p(t_p, H_0, \mu) &= \frac{1}{2} \int_{H(t_p, H_0, \mu)}^{t_p^*} \sigma_c(p) (H_0 - \mu(t_p - \tau)) \int_{-1}^1 \gamma(\mu, \mu') \\ &\quad \mathcal{G}_p(\tau, H_0 - \mu(t_p - \tau), \mu') d\mu' \exp \left[ - \int_{\tau}^{t_p} \sigma(H_0 - \mu(t_p - \tau')) d\tau' \right] d\tau + \\ &\quad + \frac{1}{2} \int_{t_p}^{t_p^*} \sigma_c(p) (H_0 - \mu(t_p - \tau)) - \sigma_s(p) (H_0 - \mu(t_p - \tau)) \\ &\quad \int_{-1}^1 \gamma(\mu, \mu') \mathcal{G}_c(p)(\tau, H_0 - \mu(t_p - \tau), \mu') d\mu' \exp \left[ - \int_{\tau}^{t_p} \sigma(H_0 - \mu(t_p - \tau')) d\tau' \right] d\tau \end{aligned} \quad (17)$$

Умножив равенство (17) на  $-\mu$ , проинтегрировав по  $\mu$  от  $-1$  до  $0$ , учитывая не отрицательность первого члена правой части, равенства (17) и функции  $\Phi$ , в силу вышеупомянутых соотношений, неравенства (7) и условий (5), (15) приходим к неравенству

$$\begin{aligned} A_p - \tilde{A}_p &\geq -\frac{1}{2} (\tilde{\sigma}_s^p - \sigma_s^p) f_m \int_{-1}^{\frac{H_{p-1}-H_0}{t_p}} \mu d\mu \int_0^{t_p} \mu d\mu \int_0^{\tau} \exp(-\tilde{\sigma}(t_p - \tau)) d\tau \int_{-1}^0 \gamma(\mu, \mu') d\mu' \int_0^{\tau} \exp(-\tilde{\sigma}(\tau - \tau')) d\tau' : \\ &\geq -\frac{1}{2} (\tilde{\sigma}_s^p - \sigma_s^p) \exp(-\tilde{\sigma} t_p) f_m \alpha \int_{-1}^{\frac{H_{p-1}-H_0}{t_p}} \mu d\mu \int_0^{t_p} \mu d\mu \int_0^{\tau} \tau d\tau \\ &\quad - \int_{-1}^{\frac{-1_p + (H_{p-1}-H_0)}{2t_p}} \mu d\mu \geq \frac{t_p + (H_{p-1} - H_0)}{4tp^2} [t_p - (H_{p-1} - H_0)] \end{aligned} \quad (18)$$

После некоторых оценок из (18)

$$0 \leq \tilde{\sigma}_s^p - \sigma_s^p \leq C_4 (A_p^c - A_p) \quad (19)$$

Из (19) и (16)

$$\begin{aligned} |\tilde{\sigma}_s^p - \sigma_s^p| &\leq C_4 |A_p^c - A_p| \leq C_4 \left\{ |A_p^c - \tilde{A}_p| + |\tilde{A}_p - A_p| \right\} \leq \\ &\leq C_4 (C_1 C_4 (1 + C_1 C_4)^{p-2} \varepsilon + \varepsilon) \leq C_4 (1 + C_1 C_4)^{p-1} \varepsilon \end{aligned}$$

что доказывает справедливость оценки (12), а значит и оценки (10).

В конце статьи отметим следующие результаты для нестационарного уравнения переноса в многозонной области:

- о разрешимости и единственности «в целом» в  $R$  обратных задач нахождения пар  $\{U, \delta\}$ ;
- о непрерывной зависимости упомянутых задач от дополнительной информации, в случае многозонной области.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Агошков В.И. О гладкости решений уравнения переноса и приближенных методах их построения, I / Агошков В.И. // Дифференциальные и интегро-дифференциальные уравнения – Новосибирск, 1977.-Вып. I. – С.59-71
2. Гермогенова Т.А. Некоторые свойства решений первой краевой задачи для уравнения переноса нейтронов / Гермогенова Т.А. //Вычислительные методы в теории переноса. – М.: Атомиздат, -1969. С.34-49.
3. Султангазин У.М. О некоторых обратных задачах атмосферной оптики / Султангазин У.М., Иркегулов И.Ш. // - В кн.: Некорректные задачи математической физики и анализа. –Новосибирск, Наука, Сиб. Отд., 1984, с. 143-149.
4. Сариев А.Д. О корректности «в целом» некоторых обратных задачах для нестационарных уравнений / Сариев А.Д., Сыдыков Г.М. // АН СССР, ЖВМ и МФ №12, 1991.
5. Султангазин У.М. Методы сферических гармоник и дискретных ординат в задачах кинетической теории переноса / Султангазин У.М. –Алма-Ата: Наука, 1979. –269 с.
6. Сариев А.Д. О решении обратных задач нестационарного уравнения переноса / Сариев А.Д., Сыдыков Г.М. // Условно-корр. задачи мат. физики. – Краснодар, 1992.
7. Сариев А.Д. О корректности обратных задачи определения пары  $\{u, \sigma\}$  в случае простой области для уравнения переноса излучений / Сариев А.Д., Шаждекеева Н.К., Шыганакоева А.Т. // Международный научно-исследовательский журнал ISSN 2303-9868 print ISSN 2227-6017/ № 01 (55) 2017/ Часть 2 Январь Екатеринбург 2017.
8. Сариев А.Д. Свойства интеграла столкновений нестационарного уравнения переноса в плоскопараллельной геометрии / Сариев А.Д., Шыганакоева А.Т., Жубанова Н.Ж. // Журнал «Актуальные научные исследования в современном мире» ISSN 2524-0986 выпуск 11(19) часть 1, Переяслав-Хмельницкий 2016, 146 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Agoshkov V.I. O gladkosti resheniy uravneniya perenosa i priblizhennykh metodakh ikh postroeniya, I [On the Smoothness of Solutions of the Transport Equation and Approximate Methods for their Construction, I] / Agoshkov V.I. // Differentsial'nyye i integro-differentsial'nyye uravneniya [Differential and Integro-Differential Equations] – Novosibirsk, 1977. – Issue. I. – P. 59-71 [in Russian]
2. Germogenova T.A. Nekotorye svoystva reshenii pervoi kraevoi zadachi dlya uravneniya perenosa neitronov [Some Properties of Solutions of the First Boundary Value Problem for the Neutron Transport Equation] / Germogenova T. A. // Vychislitel'nyye metody v teorii perenosa [Computational Methods in Transport Theory]. – M.: Atomizdat, – 1969. P.34-49. [in Russian]
3. Sultangazin U.M. O nekotorykh obratnykh zadachakh atmosferno optiki. [On Some Inverse Problems of Atmospheric Optics] / Sultangazin U. M., Irkegulov I. Sh. // In the book: Incorrect Problems of Mathematical Physics and Analysis. – Novosibirsk, Nauka, Sib. Dep., 1984, p. 143-149. [in Russian]
4. Sariev A.D. O korrektnosti «v tselom» nekotorykh obratnykh zadachakh dlya nestatsionarnykh uravnenii. [On the Correctness “in General” of Some Inverse Problems for Non-stationary Equations] / Sariev A. D., Sydykov G. M. // AN SSSR, ZhVM i MF [Academy of Sciences of the USSR, ZhVM and MF] No. 12, 1991. [in Russian]
5. Sultangazin U.M. Metody sfericheskikh garmonik i diskretnykh ordinat v zadachakh kineticheskoi teorii perenosa. [Methods of Spherical Harmonics and Discrete Ordinates in the Problems of the Kinetic Theory of Transport] / Sultangazin U. M. – Alma-Ata: Nauka, 1979. – 269 p. [in Russian]
6. Sariev A. D. O reshenii obratnykh zadach nestatsionarnogo uravneniya perenosa. [On the Solution of Inverse Problems of the Non-stationary Transport Equation] / Sariev A. D., Sydykov G. M. // Uslovno-korr. zadachi mat. fiziki [Relative Corrective Tasks of Math. Physics]. Krasnodar, 1992. [in Russian]
7. Sariev A.D. O korrektnosti obratnykh zadach opredeleniya pary  $\{u, \sigma\}$  v sluchae prostoi oblasti dlya uravneniya perenosa izlucheniya [On the Correctness of Inverse Problems of Determining the Pair  $\{u, \sigma\}$  in Case of a Simple Domain for the Radiation Transport Equation] / Sariev A.D., Shazhdekееva N.K., Shyganakova A.T. et al. // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal] ISSN 2303-9868 print ISSN 2227-6017 / No. 01 (55) 2017 / Part 2 January Yekaterinburg 2017. [in Russian]
8. Sariev A.D. Svoystva integrala stolknovenii nestatsionarnogo uravneniya perenosa v ploskoparallelnoi geometrii. [Properties of the Collision Integral of the Non-stationary Transport Equation in Plane-parallel Geometry] / Sariev A.D., Shyganakova A.T., Zhubanova N.Zh. et al. // Zhurnal Aktual'nyye nauchnyye issledovaniya v sovremennom mire [Topical Scientific Research in the Modern World] Journal ISSN 2524-0986 Issue 11 (19) Part 1, Pereyaslav-Khmel'nitsky 2016, 146 pp. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.002>**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА ДОПИРОВАНОГО  $\beta$ -ДИКЕТОНАТАМИ ДИФТОРИДА БОРА**

Научная статья

**Майор А.Ю.<sup>1,\*</sup>, Прощенко Д.Ю.<sup>2</sup>, Мирочник А.Г.<sup>3</sup>, Федоренко Е.В.<sup>4</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3562-3078;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-8378-8208;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-3247-9517;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-0398-7846;<sup>1,2</sup> Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия;<sup>3,4</sup> Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия

\* Корреспондирующий автор (mayor[at]iacp.dvo.ru)

**Аннотация**

Исследованы линейные и нелинейные оптические характеристики новых полимерных материалов на основе полиметилметакрилата допированного  $\beta$ -дикетонатами дифторида бора. Полученные образцы показали высокий выход одно- и двухфотонной флуоресценции и высокие коэффициенты двухфотонной абсорбции. Спектральные характеристики образцов позволяют использовать исследованные материалы в качестве флуоресцентных концентраторов солнечной энергии.

**Ключевые слова:** флуоресценция, ПММА,  $\beta$ -дикетонат дифторида бора, двухфотонная флуоресценция, флуоресцентные концентраторы.

**OPTICAL PROPERTIES OF FILMS BASED ON POLYMETHYL METHACRYLATE DOPED WITH  $\beta$ -DIKETONATES OF BORON DIFLUORIDE**

Research article

**Mayor A.Yu.<sup>1,\*</sup>, Proshchenko D.Yu.<sup>2</sup>, Mirochnyk A.G.<sup>3</sup>, Fedorenko E.V.<sup>4</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3562-3078;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-8378-8208;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-3247-9517;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-0398-7846;<sup>1,2</sup> Institute for Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russia;<sup>3,4</sup> Institute of Chemistry FEB RAS, PhD in Chemistry, Vladivostok, Russia

\* Corresponding author (mayor[at]iacp.dvo.ru)

**Abstract**

The linear and non-linear optical characteristics of new polymeric materials based on polymethyl methacrylate doped with  $\beta$ -diketonates of boron difluoride are studied in the article. The obtained samples showed a high output of one- and two-photon fluorescence and high two-photon absorption coefficients. Spectral characteristics of the samples enable the use of the studied materials as fluorescent concentrators of solar energy.

**Keywords:** fluorescence, PMMA,  $\beta$ -diketonate boron difluoride, two-photon fluorescence, fluorescence concentrators.

**Введение**

Полимерные композиты на основе полиметилметакрилата (ПММА), приобрели большой интерес, поскольку они могут проявлять уникальные физические и химические свойства, которые значительно отличаются от свойств их отдельных компонентов [1], [2], [3]. Из-за своей высокой прозрачности, легкости, ударопрочности сам ПММА становится альтернативой стеклу во многих областях применения [5, С. 5-8]. Нетоксичность, невысокая стоимость, хорошая технологичность, биосовместимость, обеспечивающая минимальные воспалительные реакции с биологическими тканями, и повышенная устойчивость к разрушению сделали этот полимер потенциальным материалом для биомедицинских применений, которая включает подготовку костных цементов для целевой доставки и высвобождения лекарств и краниопластики [6], [7], [8]. Хорошая совместимость с такими допирующими компонентами как углеродные нанотрубки, углерод, графен позволяет создать композиты способные стать датчиками химических, биологических веществ и температуры, полимерными проводниками [9], [10], [11]. Фотофизические свойства флуоресцентно окрашенного ПММА получили значительное внимание для таких интересных приложений, как оптические фильтры, волноводы. Тонкие флуоресцентные покрытия на основе композиций ПММА с наночастицами, квантовыми точками и красителями с хорошими оптическими качествами позволяют получать концентраторы флуоресцентного света с высоким коэффициентом концентрации для солнечных модулей и оболочек для теплиц [15], [16], [17]. Применение борсодержащих красителей в таких пленках представляет интерес из-за их флуоресцентных свойств, которые могут позволить использовать их в органических светодиодах [19], свойств термохромности [20], хороших нелинейно-оптических характеристик (в частности, высокие значения коэффициентов преломления  $n_2$  [21], [22] и двухфотонного поглощения [23], [24]). В последние годы проводится большое число исследований флуорофоров основанных на  $\beta$ -дикетонатах дифторида бора для описанных выше и других приложений [25], [26], [27].

В данной работе мы исследовали два новых композита на основе ПММА, допированных  $\beta$ -дикетонатами дифторида бора, табл. 1. Схемы структурного строения используемых красителей приведены на рис.1.

Таблица № 1 – Состав исследованных образцов

№ образца	Допирующий компонент	Концентрация, %
1	дифтор-4,6-ди (4'-диметиламиностирил) -1,3,2-диоксаборин	0.5
1''		3
2	дифтор-4,6-ди (4'-диметиламиностирил), 5-метил, -1,3,2-диоксаборин	0.5

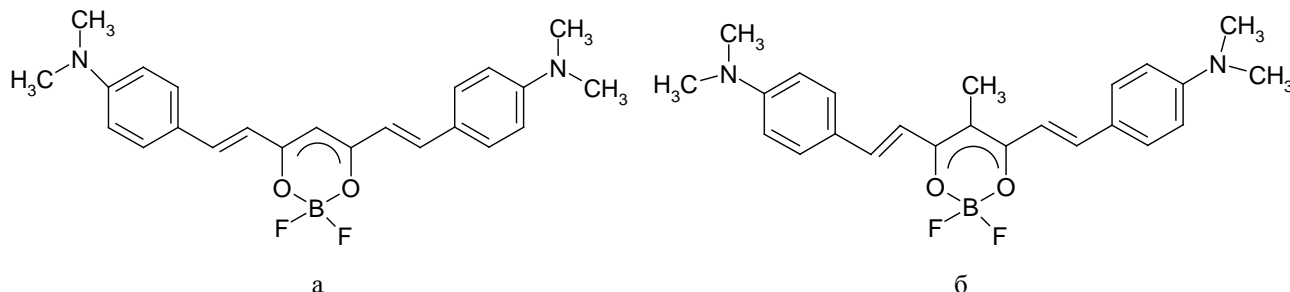


Рис. 1 – Схемы структурного строения используемых в образцах β-дикетонатов дифторида бора: *а* – дифтор-4,6-ди (4'-диметиламиностирил) -1,3,2-диоксаборин; *б* - дифтор-4,6-ди (4'-диметиламиностирил), 5-метил, -1,3,2-диоксаборин

### Методы и принципы исследования

Исследуемые материалы были синтезированы из β-дикетонатов дифторида бора альдольно-кетоновой конденсацией с пара-*N,N*-диметиламинобензальдегидом, аналогично методу, описанному в [29]. Синтезированные вещества вводились в метилметакрилат до концентрации 0.5 % по весу и подвергались радикальной полимеризации. Исследовались тонкие пленки образцов толщиной 30 мкм, нанесенные на подложку из кварцевого стекла.

Для исследования спектров пропускания использовался широкополосный источник света DH-2000-CAL (Ocean Optics). Флуоресценция образцов возбуждалась мощными светодиодами с алюминиевыми коллимирующими рефлекторами с выходным отверстием 20 мм с центральной длиной волны излучения:

-375 нм и светофильтром УФС-1 толщиной 2 мм;

-398 нм и светофильтрами FB400-10 (THORLABS) и СЗС-22 толщиной 2 мм.

Светофильтры отсекали длинноволновую часть (от 400 и 405 нм соответственно) в спектрах излучения светодиодов. Плотность мощности излучения диодов непосредственно перед исследуемыми образцами составляла 13 и 17.5 мВт/см<sup>2</sup> соответственно. Схема экспериментальной установки приведена на рис.2.

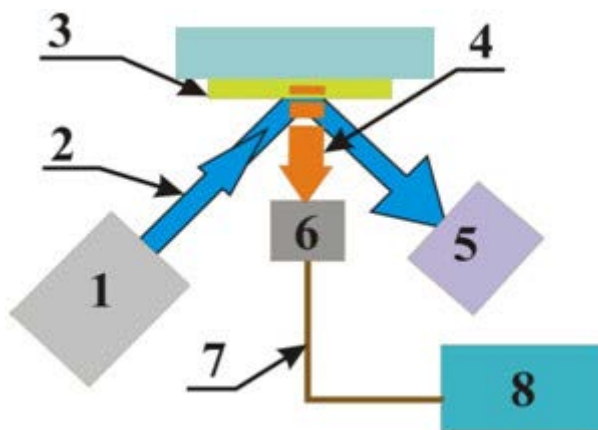


Рис. 2 – Схема экспериментальной установки при регистрации флуоресценции: 1 – источник возбуждения; 2 – излучение накачки; 3 – пленка исследуемого образца на стекле; 4 – возбуждаемая флуоресценция; 5 – поглотитель излучения; 6 – коллиматор со светофильтром, отсекающий излучение накачки; 7 – световод; 8 – спектрометр

Двухфотонная флуоресценция возбуждалась фемтосекундным лазером Spitfire 40f-1k-5W (Spectra Physics) с длительностью импульсов 65 фс, с центральной длиной волны 795 нм, при ширине спектра около 30 нм, и частоте повторения импульсов от 4 Гц до 1 кГц. Максимальная энергия в импульсе до 4.5 мДж. Спектры регистрировались малогабаритным спектрометром с оптоволоконным входом и фиксированной решеткой Maya 2000 Pro (Ocean Optics) UV с рабочим диапазоном спектра 200 – 1100 нм. Излучение вводилось в спектрометр кварцевым оптоволоконным кабелем с коллиматором. Коллиматор со светофильтром, отсекающий излучение накачки размещался на расстоянии 5 см от исследуемого образца, рис. 2, поз. 6. Экспериментальный комплекс управлялся компьютером. В наших экспериментах экспозиция спектрометра устанавливалась: для двухфотонной флуоресценции 1 секунда и 0.1 секунда для остальных измерений. Спектры усреднялись по шестнадцати измерениям.

### Основные результаты

На рисунке 3 представлены спектры пропускания образцов.

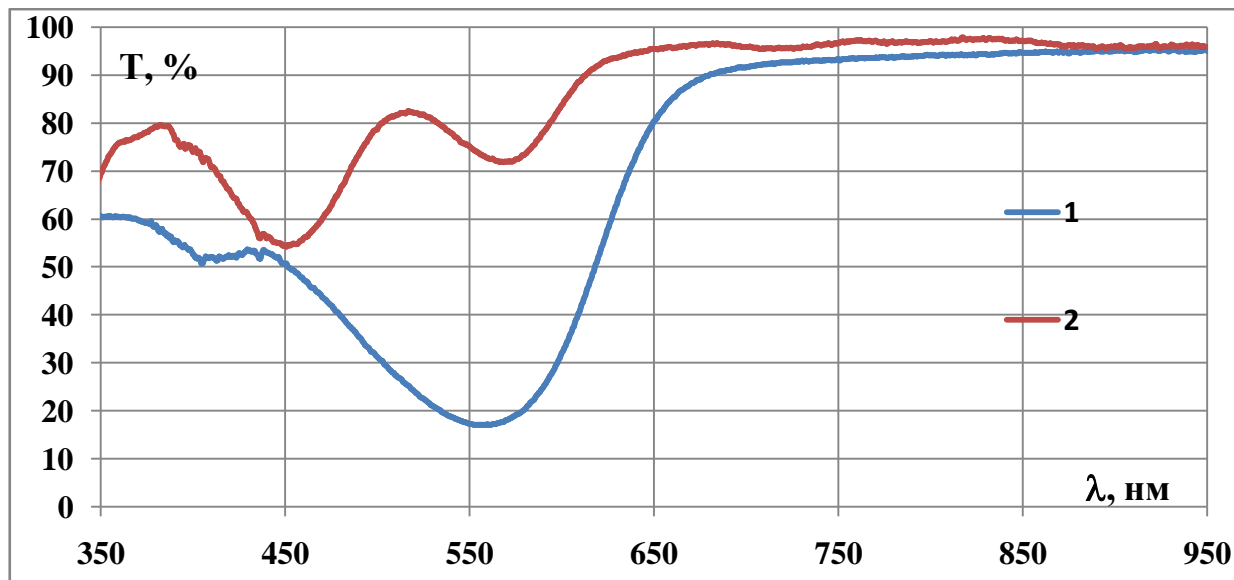


Рис. 3 – Спектры пропускания образцов 1 и 2, табл. 1, толщиной 30 мкм

Образцы сильно поглощают в зеленой (образец 1) и сине-зеленой (образец 2) области спектра, это определяется допирующими компонентами, таб. 1, рис.1. Спектр пропускания первого образца хорошо согласуется со спектром поглощения хлорофилла А, рис. 5.б – области максимального поглощения 420 и 675 нм, область минимального поглощения 480 – 600 нм.

Полученные спектры флуоресценции образцов при накачке светодиодами приведены на рис. 4. Для отсечки излучения накачки использовался дихроичный светофильтр 10CGA-435 (Newport). Образцы показали высокий выход флуоресценции. Спектр флуоресценции образцов совпадает с красной областью поглощения хлорофилла А.

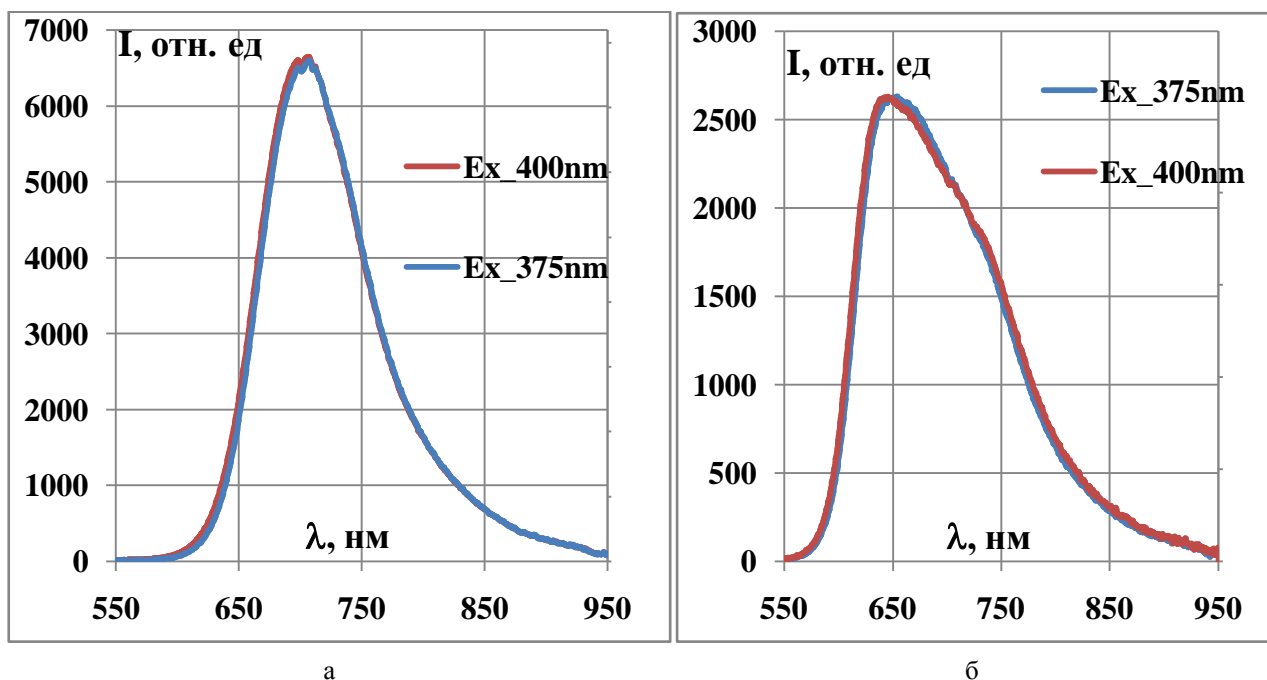
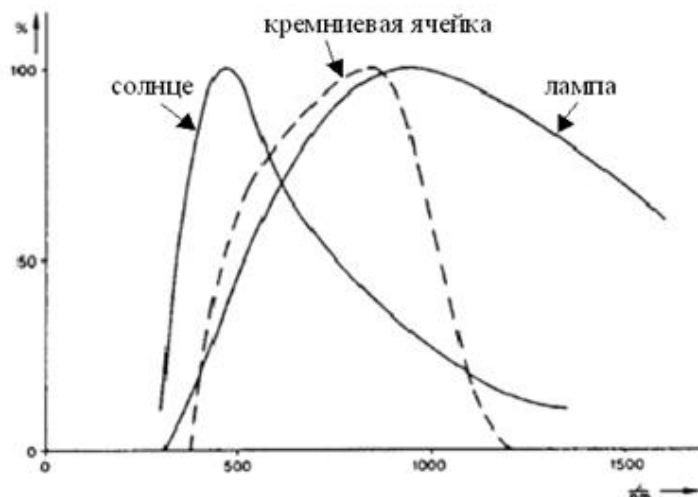


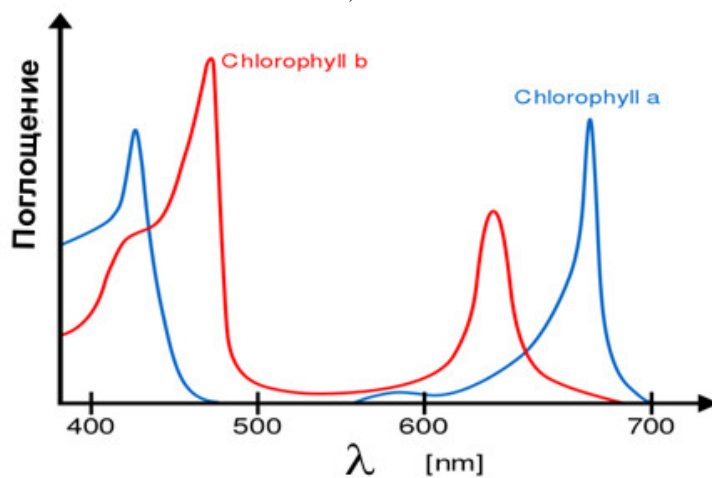
Рис. 4 – Спектры флуоресценции образцов при накачке светодиодами: а – спектры флуоресценции образца 1, табл. 1; б – спектры флуоресценции образца 2

Такое сочетание спектров пропускания и флуоресценции позволит использовать пленки этих образцов, в первую очередь первого, в качестве флуоресцентных концентраторов солнечного света для выращивания растений.

Увеличение концентрации красителя в первом образце до 3%, что выше порога кристаллизации для красителя, привело к формированию микро и нано кристаллов красителя в объеме полимера. Размер кристаллов не превышал 10 мкм, а большая часть не превышала 2 мкм по микроскопическим исследованиям.



а)



б)

Рис. 5 – Нормированные спектры поглощения и излучения [30]: а – солнца, солнечных панелей, лампы; б – хлорофилла А и Б

Спектр флуоресценции образца существенно расширился в инфракрасную область и в нем появился второй пик флуоресценции с максимумом на 780 нм, рис. 6. Спектр пропускания и флуоресценции этого образца хорошо согласуется со спектром поглощения кремниевых солнечных панелей, рис. 5.а. Это позволит использовать пленки этого образца для флуоресцентных концентраторов солнечного света солнечных батарей.

Спектры двухфотонной флуоресценции образцов приведены на рисунке 7. Для отсеечения излучения накачки 800 нм использовался фильтр СЗС-21 толщиной 4 мм. Восстановить спектры двухфотонной флуоресценции невозможно из-за наложения их на спектр излучения накачки, но по полученным спектрам видно, что первый образец имеет наибольший выход двухфотонной флуоресценции и второй гармоники (400 нм).

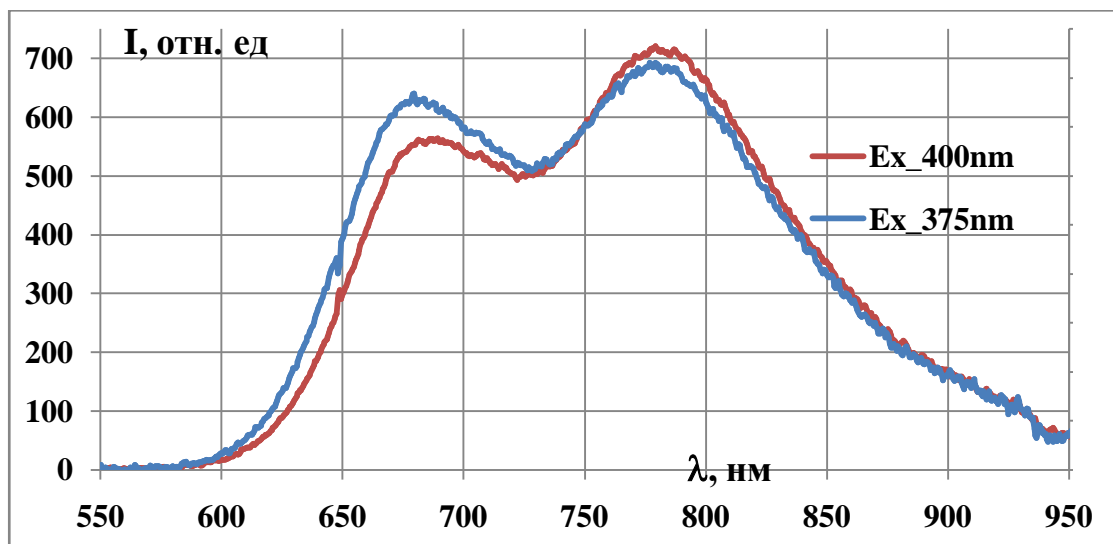


Рис. 6 – Спектры флуоресценции образца 1'', таб. 1, при накачке светодиодами

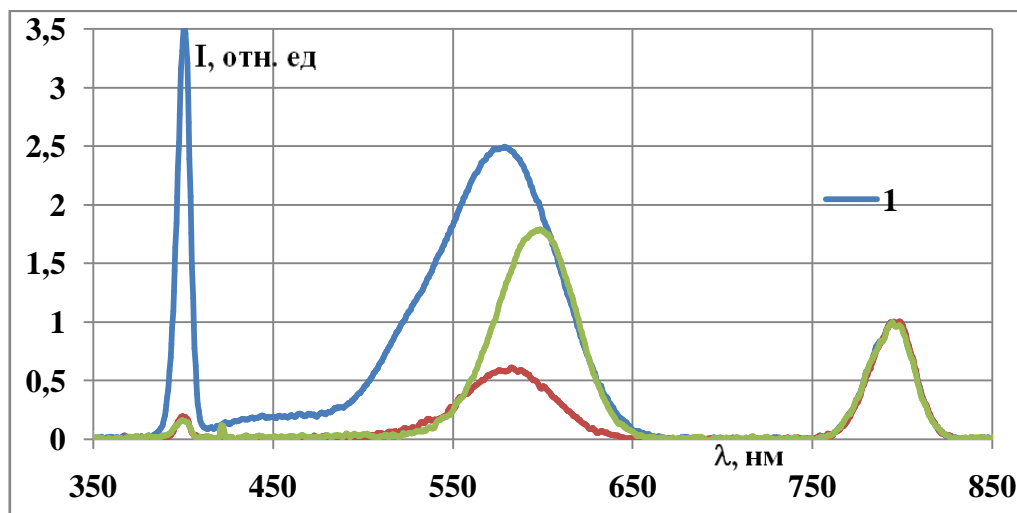


Рис. 7 – Спектры двух-фотонной флуоресценции образцов, прошедшее через фильтр СЗС-21, при накачке фемтосекундным лазером с длиной волны излучения 800 нм, нормированные на интенсивность линии накачки 800 нм

### Закключение

Оптические свойства исследованных образцов хорошо соответствуют требованиям к флуоресцентным концентраторам солнечной энергии. Их характеристики могут быть скорректированы как изменением в структуре допирующего вещества, так и его концентрацией и связанной с ней агрегацией.

### Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН № 18-3-003 (номер в системе гос. задания ФАНО: 0262-2018-0029).

### Funding

This work was supported by a grant from the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences No. 18-3-003 (number in the system of state assignment FANO: 0262-2018-0029).

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Ali U. A review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate)(PMMA) / Ali U., Karim K.J.B.A., Buang N.A. // Polym. Rev. – 2015. – Vol. 55. – P. 678–705.
2. Studer V. Nanoembossing of thermoplastic polymers for microfluidic applications / Studer V., Pepin A., Chen Y. // Appl. Phys. Lett. – 2002. – Vol.80. – p. 3614–3616.
3. Lamnatou C. Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: Fluorescent solar concentrators, photoselective and other materials / Lamnatou C., Chemisana D. // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2013. – Vol. 27. – p. 175–190.
4. Takano H. The Viscosity and Intermolecular Interaction of Organic and Inorganic Hybrid Systems Composed of Chiral Schiff Base Ni (II), Cu (II), and Zn (II) Complexes with Long Ligands, Azobenzene, and PMMA / Takano H., Takase M., Sunaga N., Ito M., Akitsu T. // Inorganics – 2016. – Vol. 4. - No. 3. - p 20.
5. Efron N. Contact Lens Practice E-Book / Efron, N. – Elsevier, 2018. – 496 p.
6. Zuhair J. Chitosan /PMMA bioblend for drugs release applications / Zuhair J., Abdul Amer J.K.A., Sura Fahim A. // International Journal of Engineering and Technology – 2014. – Vol. 4. – No 5. – p. 318–324.
7. Zuber M. Biocompatibility and microscopic evaluation of polyurethane–poly(methyl methacrylate)–titanium dioxide based composites for dental applications / Zuber M., Tabasum S., Jamil T., Shahid M., Hussain R., Feras K.S., Bhatti K.P. // Journal of Applied Polymer Science – 2014 – Vol. 131. – No 3. – p. 1–9.
8. Itokawa H. 12 month in vivo study on the response of bone to a hydroxyapatite-polymethylmethacrylate cranioplasty composite / Itokawa H., Hiraide T., Moriya M., Fujimoto M., Nagashima G., Suzuki R., Fujimoto T. A. // Biomaterials. – 2007. – Vol. 28. – No 33. – p. 4922–4927.
9. Perween M. Polymer-graphite composite: a versatile use and throw plastic chip electrode / Perween M., Parmar, D.B., Bhadu G.R., Srivastava D.N. // Analyst – 2014. – Vol. 139. – No 22. – p. 5919–5926.
10. Hargsoon Y. Passive wireless sensors using electrical transition of carbon nanotube junctions in polymer matrix / Hargsoon Y., Jining X., Jose K.A., Vijay K.V., Paul B. R. // Smart Materials and Structures – 2006. – Vol. 15. – No. 1. - p. 14–20.
11. Mishra S.K. SPR based fibre optic ammonia gas sensor utilizing nanocomposite film of PMMA/reduced graphene oxide prepared by in situ polymerization / Mishra S.K., Tripathi S.N., Choudhary V., Gupta B.D. // Sensors and Actuators B: Chemical – 2014. – Vol. 199. – p. 190–200.
12. Haibao L. Heating/ethanol-response of poly methyl methacrylate (PMMA) with gradient pre-deformation and potential temperature sensor and anti-counterfeit applications / Haibao L., Wei Min H., Xue Lian W., Yu Chun G., Fan Z., Yong Z., Junfeng G. // Smart Materials and Structures – 2014. – Vol. 23. – No. 6. – p. 1–14.



13. Kruckel J. Conductivity of polymethyl-methacrylate filled with carbon black or carbon fibres under oscillatory shear / Kruckel J., Star y, Z., Triebel C., Schubert D. W., Munstedt H. // *Polymer* – 2012. – Vol. 53. – No. 2. – p. 395–402.
14. Coelho P.H.D.S.L. Electrical percolation, morphological and dispersion properties of MWCNT/PMMA nanocomposites / Coelho P.H.D.S.L., Marchesin M.S., Morales A.R., Bartoli J.R. // *Materials Research* – 2014. - Vol. 17. – Suppl. 1. - p. 127–132.
15. El-Bashir S. Red photoluminescent PMMA nanohybrid films for modifying the spectral distribution of solar radiation inside greenhouses / El-Bashir S., Al-Harbi F., Elburaih H., Al-Faifi F., Yahia I. // *Renew. Energy* – 2016. – Vol. 85. – No. C. – p. 928–938.
16. Al-Mahdouri A. Theoretical and experimental study of solar thermal performance of different greenhouse cladding materials / Al-Mahdouri A., Gonome H., Okajima J., Maruyama S. // *Sol. Energy* – 2014. – Vol. 107. – p. 314–327.
17. El-Bashir S. Enhanced fluorescence polarization of fluorescent polycarbonate/zirconia nanocomposites for second generation luminescent solar concentrators. / El-Bashir S. // *Renew. Energy* - 2018. – Vol. 115. – p. 269–275.
18. El-Bashir S. M. Spectral Properties of PMMA Films Doped by Perylene Dyestuffs for Photosensitive Greenhouse Cladding Applications. / S. M. El-Bashir, M. S. AlSalhi, F. Al-Faifi and W. K. Alenazi // *Polymers* – 2019. – Vol. 11. – No 3. – p. 494;
19. Selvam Karthick Effect of substitution on the excited state photophysical and spectral properties of boron difluoride curcumin complex dye and their derivatives: A time dependent-DFT study / Selvam Karthick, Gandhi Sivaraman, Krishnamurthy Sailaja and Gopalakrishnan Gopu // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* – 2019. – Vol. 199. – p. 111595
20. Mirochnik A.G. Reversible luminescence thermochromism of dibenzoyl(methanato)boron difluoride. / Mirochnik A.G., Fedorenko E.V., Bukvetskii B.V., Karasev V.E. // *Russ Chem Bull* – 2005. – v.54 – p. 1060-1062.
21. Kammler R. Second-order optical non-linearity of new 1,3,2(2H)-dioxaborine dyes / Kammler R., Bourhill G., Jin Y, Bräuchle C., Görlitz G., Hartmann H. // *J Chem Soc Faraday Trans.* - 1996. – Vol. 92. – P. 945 - 947.
22. Wang Y.-H. Solvent effects on vibronic one-photon absorption profiles of dioxaborine heterocycles / Wang Y.-H., Wang C.-K., Halik M., Marder S.R., Luo Y. // *J Chem Phys.* - 2005. – Vol. 123. – p. 194,311-194,318.
23. Dr. Kenji Kamada Boron Difluoride Curcuminoid Fluorophores with Enhanced Two-Photon Excited Fluorescence Emission and Versatile Living-Cell Imaging Properties / Dr. Kenji Kamada, Tomotaka Namikawa, Dr. Sébastien Senatore, Dr. Cédric Matthews, et al. // *Chem. Eur. J.* – 2016 – Vol. 22. - No. 15. – p. 5219-5232
24. Abegão Luis M.G. Oxazole Dyes with Potential for Photoluminescence Bioprobes: A Two-Photon Absorption Study / Luis M.G. Abegão, Ruben D. Fonseca, Tárcius N. Ramos, Florence Mahuteau-Betzer, Sandrine Piguel, José Joatan R., Cleber R. Mendonça, Sylvio Canuto, Daniel L. Silva and Leonardo De Boni // *The Journal of Physical Chemistry C.* – 2018. – Vol. 122. – No. 19. – p. 10526-10534.
25. Gerasov A.O. The structural criteria of hydrolytic stability in series of dioxaborine polymethine / Gerasov A.O., Zyabrev K.V., Shandura M.P., Kovtun Y.P. // *Dyes Pigm.* - 2011. – Vol. 89. – p. 76-85.
26. Tikhonov Sergey A. Spectroscopic and quantum chemical study of difluoroboron  $\beta$ -diketonate luminophores: Isomeric acetylnaphtholate chelates / Sergey A. Tikhonov, Elena V. Fedorenko, Anatolii G. Mirochnik, Ivan S. Osmushko, Anna D. Skitnevskaya, Alexander B. Trofimov and Vitaliy I. Vovna // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* - 2019. – Vol. 214. – p. 67-78
27. Ponce-Vargas Miguel Searching for new borondifluoride  $\beta$ -diketonate complexes with enhanced absorption/emission properties using ab initio tools / Miguel Ponce-Vargas, Bogdan Ștefane, Elena Zaborova, Frédéric Fages, Anthony D'Aléo, Denis Jacquemin and Boris Le Guennic // *Dyes and Pigments.* - 2018. – Vol. 155. - p. 59-67
28. Polishchuk Vladyslav D- $\pi$ -A- $\pi$ -D Dyes with a 1,3,2-Dioxaborine Cycle in the Polymethine Chain: Efficient Long-Wavelength Fluorophores / Vladyslav Polishchuk, Mariia Stanko, Andrii Kulinich and Mykola Shandura // *European Journal of Organic Chemistry* – 2018. – Vol. 2018. – No. 2. – p. 240-246
29. Reynolds G.A. Synthesis of cromones. / Reynolds G.A., Van Allan J.A., Seidel A.K. // *J Heterocycl Chem.* - 1979. – Vol. 16. – p. 369-370.
30. Chlorophyll a [Electronic resource] Wikipedia. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Chlorophyll\\_a](https://en.wikipedia.org/wiki/Chlorophyll_a) (accessed 09.01.2020)

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОСТИ СИЛИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ

Научная статья

Крукович М.Г.<sup>1,\*</sup>, Федотова А.Д.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-5563-093X;<sup>1,2</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (ya.bormag[at]yandex.ru)

## Аннотация

Проведен анализ механизма массопереноса при формировании силицированных слоев в расплавленных солевых средах. Теоретической базой массопереноса и легирования слоев является работа микрогальванических элементов и, в частности, анодная стадия процесса, протекающая на поверхности порошковых добавок (электрохимических восстановителей). Показано, что интенсивность работы микрогальванических элементов определяет насыщающую способность ванны и зависит от разности стационарных электродных потенциалов металла обрабатываемой детали и порошковой добавки. Представлены отдельные результаты исследования кинетики процесса силицирования и жаростойкости получаемых легированных Zr, Mn, Al и РЗМ слоев, имеющих минимальный привес при температуре 1000<sup>0</sup>С.

**Ключевые слова:** силицирование, жаростойкость, солевая ванна, массоперенос, микрогальванический элемент, анодный и катодный процессы, легирование, порошковые добавки.

## WAYS OF INCREASING RESISTANCE OF SILICATED LAYERS

Research article

Krukovich M.G.<sup>1,\*</sup>, Fedotova A.D.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-5563-093X;<sup>1,2</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia

\* Corresponding author (ya.bormag[at]yandex.ru)

## Abstract

The analysis of the mass transfer mechanism during the formation of silicated layers in molten salt media is carried out. The work of micro-voltaic cells and, in particular, the anodic stage of the process, occurring on the surface of powder additives (electrochemical reducing agents), is the theoretical basis of mass transfer and alloying of layers. It is shown that the intensity of the micro-galvanic cells determines the saturating ability of the bath and depends on the difference between the stationary electrode potentials of the metal of the workpiece and powder additives. Some results of studying the kinetics of silicification and heat resistance of the obtained alloyed Zr, Mn, Al and REM layers with a minimum gain at a temperature of 10,000<sup>0</sup>С are presented.

**Keywords:** silicification, heat resistance, salt bath, mass transfer, micro galvanic cell, anodic and cathodic processes, alloying, powder additives.

## Введение

Одним из методов получения благоприятного сочетания коррозионной стойкости, жаростойкости, твердости и износостойкости являются процессы нанесения силицированных покрытий. Важным направлением применения силицированных покрытий является возможность повышения окислительной стойкости ряда деталей: печной арматуры, контейнеров для химико-термической обработки (цементации, борирования, азотирования и др.), деталей печей пиролиза углеводородов, приспособлений для укладки деталей в печах для нагрева и т.п. [1, С. 215], [2, С. 101, 196].

Сравнительные испытания силицированных и алитированных деталей показали преимущества силицированных, что позволило в ряде случаев использовать их вместо дорогостоящих аустенитных сталей (например, стали X25H20C2) [2, С. 196].

Из всех способов силицирования технология насыщения из расплавленных сред представляет широкие возможности получения легированных силицированных слоев в интервале температур 750-1100<sup>0</sup>С с более высокими эксплуатационными свойствами. Что позволит расширить области применения силицированных слоев и производить замену жаростойких аустенитных сталей на силицированные углеродистые и низколегированные стали при изготовлении ряда деталей.

Таким образом, целью данной работы является разработка технологии получения силицированных легированных слоев с повышенным комплексом эксплуатационных свойств.

## Механизм массопереноса в расплавленных средах при силицировании

Механизм массопереноса в расплавах солей имеет самопроизвольный характер и протекает в режиме самоорганизации. Диссипативной структурой (соединением) самоорганизации являются ионы низших валентностей насыщающего элемента, которые возникают в расплаве (в гетерогенной системе) в результате протекания окислительно-восстановительных процессов между элементами расплава, порошковой добавкой и обрабатываемой поверхностью металла. Массоперенос может проходить контактным или «бесконтактным» путем.

При «бесконтактном» пути обеспечивается массоперенос более электроотрицательного насыщающего элемента на поверхность менее электроотрицательного металла (обрабатываемую поверхность) за счет реакций

диспропорционирования субионов (ионов низших валентностей) на этой поверхности [3, С. 3-5], [4, С. 45-47], [5, С. 17-18]. Продуктом реакции являются ионы высших валентностей, которые отводятся от обрабатываемой поверхности в расплав и после взаимодействия с ионными комплексами расплава могут вновь образовывать ионы низших валентностей. Скорость массопереноса зависит от расстояния между обрабатываемой поверхностью и порошковой добавкой и резко возрастает при бесконечно малом расстоянии, т.е. при образовании контакта.

При контактном массопереносе обеспечивается осаждение более электроотрицательного элемента на поверхность менее электроотрицательного металла за счет работы микрогальванического элемента:

(–) Насыщаемый металл (катод)	Расплав (ионный проводник)	Электрохимический (+) восстановитель (анод)
----------------------------------	-------------------------------	---

В месте контакта насыщаемого металла и электрохимического восстановителя и возникает электронная проводимость, которая обеспечивает перетекание электронов на поверхность насыщаемого металла.

Анодная стадия (растворение) протекает на поверхности электрохимического восстановителя (порошковой добавки). Вышедшие катионы образуют комплексы с анионами расплава.

Катодная стадия протекает на поверхности обрабатываемого материала и сопровождается в результате избытка электронов, перешедших с поверхности порошковой добавки в местах контакта, восстановлением катионов, входящих в состав электролита. Таким образом, самопроизвольно устанавливается равновесие с расплавом на границах раздела. Восстанавливаемыми катионами могут быть и катионы, появившиеся в расплаве при протекании анодного растворения порошковой добавки (электрохимического восстановителя).

Скорость протекания катодной и анодной стадий зависит от разности равновесных (или стационарных) электродных потенциалов порошковой добавки и обрабатываемого материала, степени поляризуемости их поверхностей, а также от состава расплавленной соли и температуры. При этом на обрабатываемой поверхности образуется та фаза или обеспечивается такая концентрация на поверхности, электроотрицательнее которых становится насыщаемая поверхность во время процесса. Массоперенос контролируется скоростями образования субионов в расплаве, их непосредственного восстановления на обрабатываемой поверхности при работе короткозамкнутых микрогальванических элементов и скоростью отвода продуктов окислительно-восстановительного процесса.

#### Проведение процесса силицирования

Выбор электролита для проведения процесса силицирования проводился с учетом диаграмм плавкости систем, строения и свойств компонентов. В основе низкой жидкотекучести и электропроводности системы на основе  $Na_2O - SiO_2$ , применяемой для проведения процесса жидкостного силицирования, лежит ее комплексная структура с высокой долей ковалентных связей. Комплексы системы  $SiO_3^{2-}$  и  $(Si_2O_5^{2-})_n$ , как правило, объединяются в цепочки (полимеризуются), образуя прочный каркас. Ионы же натрия помещаются в различных «дырах» стеклообразной решетки у односторонне связанных с кремнием атомов кислорода. Повышение жидкотекучести и электропроводности было достигнуто добавлением в расплав галогенидов щелочных металлов, которые уменьшают прочность связей  $Si - O$ . Они также снижают температуру плавления метасиликата и расширяют температурный интервал проведения процесса силицирования. При необходимости проведения этого процесса в интервале температур  $550 - 700^\circ C$  следует выбирать электролиты на основе тройной эвтектики галогенидов щелочных металлов  $Li$ ,  $Na$  и  $K$  с добавками окиси кремния или метасиликата в количестве 30 – 40% по массе.

Оценка скорости массопереноса в насыщающей ванне (расплаве) проводилась по разности измеренных стационарных электродных потенциалов различных материалов (электрохимических восстановителей) и сталей. По полученным результатам строились ряды напряжений. В работа построены ряды напряжений для следующих систем (% по массе):

1. 90 - 80%  $Na_2SiO_3$  + 15%  $NaCl$ ;
2. 60-63%  $K_2SiO_3$  + 24-27%  $Na_2SiO_3$  + 5-8%  $NaCl$  + 5-8%  $NaCl$ ;
3. 28%  $LiF$  + 12%  $NaF$  + 49%  $KF$  + 13%  $SiO_2$  ( $Na_2SiO_3$ ).

Первый электролит применялся для силицирования при температуре более  $900^\circ C$ , второй при  $850-900^\circ C$  и третий в интервале температур  $550 - 750^\circ C$ .

Основным недостатком силицированных слоев является их высокая пористость, снижение которой нами достигалась путем одновременного осаждения с кремнием циркония, марганца и редкоземельных металлов [5, С. 130-132], [6], [7]. Легирование получаемых слоев обеспечивалось за счет самопроизвольного переноса этих элементов в расплав в виде катионов при анодном процессе, протекающем на поверхности порошковых добавок, и их восстановления на обрабатываемой поверхности.

В качестве порошковых добавок использовали лигатуры (% по массе): силикоцирконий (Сицр 50-1) – 40%  $Si$ , 40%  $Zr$ , 0,09%  $C$ ; редкоземельная лигатура (Р70) – 70%  $P3M$ , 30%  $Si$ ; редкоземельная лигатура (РК30) – 30%  $P3M$ , 50%  $Si$ , 10%  $Ca$ ; кальциевомагниева лигатура (КМ) – 25%  $Ca$ , 53%  $Si$ , 20%  $Mg$ , 2%  $Ti$ , 2%  $Al$ ; силикомарганец (СиМн-17) – 18%  $Si$ , 65%  $Mn$ , 1,75%  $C$ ; силикостронций (ССТ) – 65%  $Si$ , 25%  $Sr$ ; силикокальций (Каси 1) – 28%  $Ca$ , 62%  $Si$ , 2,5%  $Al$ ; силикошметалл (СММ) – 2,5%  $Ca$ , 48%  $Si$ , 5%  $Al$ , 33%  $P3M$ . Во всех составах остальное до 100% относится к  $Fe$  и примесям.

Оптимальным размером частиц электрохимического восстановителя (порошковой добавки) для состава 1 является 0,25 – 0,5 мм, для составов 2 и 3 – 0,05 – 0,1 мм. Эти размеры равномерно распределяются по объему ванны и обеспечивают одинаковую насыщающую способность. Тем не менее целесообразно перемешивание расплава через каждые 2 часа работы.

Кинетика процесса силицирования исследовалась на стали 10 на установленных оптимальных размерах частиц порошков. Наиболее толстые слои образовались при использовании лигатур Каси и КМ, основу которых составляет кремний (Таблица 1).

Таблица № 1 – Влияние вида электрохимического восстановителя на характеристики массопереноса при силицировании

Электрохимический восстановитель	Сицр	Симн17	Каси	P70	КМ	СММ	PK30	ССТ
Значение стационарного потенциала, мВ	-530	-450	-500	-570	-610	-390	-460	-350
Значение потенциала стали 10 во время насыщения, мВ	-410	-330	-400	-440	-500	-260	-330	-230
Толщина силицированного слоя, мкм	65	25	120	110	130	105	80	65

Однако эти слои содержали большое количество (до 50%) хрупкой  $\alpha'$ -фазы. При легировании силицированных слоев Zr, Mn и редкоземельными металлами (при использовании силикоциркония, силикомарганца и лигатуры P70) образовывались меньшие по толщине, но качественные слои, не содержащие пор. Представленные результаты получены в составе солевой смеси, содержащей (% по массе): 63%  $K_2SiO_3$  + 27%  $Na_2SiO_3$  + 5%  $NaCl$  + 5%  $NaCl$ . Силицирование стали 10 проводилось при 950<sup>0</sup>С в течение 4 ч при введении в солевую смесь 25% порошковой добавки. Стационарные электродные потенциалы Fe, Si, SiC и упорядоченного твердого раствора Si в Fe равны:  $\varphi_{Fe} = 100$  мВ,  $\varphi_{Si} = -330$  мВ,  $\varphi_{SiC} = -200$  мВ,  $\varphi_{Fe3Si} = -170$  мВ. При измерении использовался угольно-кислородный электрод сравнения.

Исследования окалиностойкости показало, что легированные силицированные слои имели меньший привес, чем нелегированные слои (Таблица 2). Лучшее сопротивление окислению при высоких температурах (1000<sup>0</sup>С) связано со следующими причинами:

- образованием плотных окисных пленок на силицированных поверхностях, которые препятствуют диффузии кислорода в глубь детали;
- медленным рассасыванием диффузионного слоя, вследствие присутствия в слое элементов, обладающих меньшим коэффициентом диффузии в железе, чем кремний.

Таблица № 2 – Исследование окалиностойкости силицированных слоев

Вид порошковой добавки при насыщении	Каси-1	P30	P70	Сицр 50-1	SiC
Привес, мг/см <sup>2</sup>	80	25	18	12	90

Примечание: испытания слоев, полученных при 1050<sup>0</sup>С в составе, содержащем 49%  $K_2SiO_3$  + 20%  $Na_2SiO_3$  + 3%  $NaCl$  + 3%  $NaCl$  + 25% порошковой добавки, проводились в окислительной атмосфере печи при 1000<sup>0</sup>С в течение 20 ч.

### Заключение

На основании электрохимической природы процессов формирования диффузионных слоев при химико-термической обработке разработаны и исследованы составы для получения легированных силицированных слоев в интервале температур 550 – 1100<sup>0</sup>С. Проведенное исследование показало возможность повышения окалиностойкости путем применения процесса силицирования в расплавленных солевых ваннах, обеспечивающих получение легированных цирконием, редкоземельными металлами и алюминием.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Самсонов Г.В. Тугоплавкие покрытия/ Г.В. Самсонов, А.П. Эпик. – М.: Металлургия, 1973. - 400 с.
2. Ляхович Л.С. Силицирование металлов и сплавов/ Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин, Э.Д. Щербаков, Г.Г. Панич. – Мн.: Наука и техника. – 1972. – 280 с.
3. Чернов Я.Б. Борирование сталей в ионных расплавах/ Я.Б. Чернов, А.И. Анфиногенов, Н.И. Шуров. - Екатеринбург: УрО РАН, 2001, 114с.
4. Ляхович Л.С. К вопросу о механизме безэлектролизного насыщения металлов из расплавов/ Л.С. Ляхович, Л.Н. Косачевский, Ф.В. Долманов //В сб. «Металлургия». Серия «Металловедение и химико-термическая обработка». Вып. 1. - Мн.: Изд. БПИ, 1970, С. 45-47.
5. Долманов Ф.В. К вопросу о механизме безэлектролизного насыщения из расплавов/ Ф.В. Долманов, М.Г. Крукович. // В сб. «Машиностроение и строительство». -Таллин: Изд. ГТУ, 1970, С. 17-18.
6. О природе жидкостных безэлектролизных процессов химико-термической обработки/ Л.С. Ляхович, Л.Н. Косачевский, Ф.В. Долманов, М.Г. Крукович. /МиТОМ, №2, 1972, С. 61-62.
7. Крукович М.Г. Исследование жидкостных безэлектролизных процессов химико-термической обработки: дисс... канд. техн. наук: 05.16.01: защищена 09.03.1974: утв. 10.07.1974/Крукович Марат Григорьевич. - Мн.: БПИ, 1974. – 298 с.

8. Крукович М.Г. Разработка теоретических и прикладных аспектов управления структурой и свойствами борированных слоев и их использование при производстве транспортной техники: дисс..... докт. техн. наук: 05.16.01: защищена 22.06.1995: утв. 09.02.1996/Крукович марат Григорьевич. – М.:ВНИИЖТ, 1995. – 416 с.

9. Патент SU 2-522280/ Ляхович Л.С., Крукович М.Г., Туров Ю.В., Наумчик А.А., Левитан С.Н. Состав среды для цирконосилицирования.

10. Патент SU 411168/ Ляхович Л.С., Косачевский Л.Н., Крукович М.Г., Туров Ю.В. Способ силицирования металлов и сплавов.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Samsonov G.V. Tugoplavkie pokrytiya [Refractory Coatings] / G.V. Samsonov, A.P. Epic. – М.: Metallurgy, 1973. – 400 p. [in Russian]

2. Lyakhovich L.S. Silitsirovanie metallov i splavov [Siliconization of Metals and Alloys] / L.S. Lyakhovich, L.G. Voroshnin, E.D. Shcherbakov, G.G. Panich. – Мн.: Science and Technology. – 1972. – 280 p. [in Russian]

3. Chernov Ya.B. Borirovaniye staley v ionnykh rasplavakh [Boronizing of Steels in Ionic Alloys] / I.B. Chernov, A.I. Anfinogenov, N.I. Shurov. – Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001, 114 p. [in Russian]

4. Lyakhovich L.S. K voprosu o mekhanizme bezelektroliznogo nasyshcheniya metallov iz rasplavov [To the Question of the Mechanism of Non-Electrolytic Saturation of Metals from Alloys] / L.S. Lyakhovich, L.N. Kosachevsky, F.V. Dolmanov // V sb. «Metallurgiya». Seriya «Metallovedeniye i khimiko-termicheskaya obrabotka» [In Coll. “Metallurgy.” Series “Metallurgy and Chemical-Thermal Treatment.”] Vol. 1. – Мн.: Publishing. BSI, 1970, - P. 45-47. [in Russian]

5. Dolmanov F.V. K voprosu o mekhanizme bezelektroliznogo nasyshcheniya iz rasplavov [To the Question of the Mechanism of Electroless Saturation from Alloys] / F.V. Dolmanov, M.G. Krukovich. // V sb. «Mashinostroyeniye i stroitel'stvo» [Coll “Engineering and Construction.”] – Tallin: Ed. STU, 1970, P. 17-18. [in Russian]

6. O prirode zhidkostnykh bezelektroliznykh protsessov khimiko-termicheskoi obrabotki [On the Nature of Liquid Electrolytic Processes of Chemical and Thermal Treatment] / L.S. Lyakhovich, L.N. Kosachevsky, F.V. Dolmanov, M.G. Krukovich. / МiТОМ, No. 2, 1972, P. 61-62. [in Russian]

7. Krukovich M.G. Issledovanie zhidkostnykh bezelektroliznykh protsessov khimiko-termicheskoi obrabotki: diss... kand. tekhn. nauk: 05.16.01: zashchishchena 09.03.1974: utv. 10.07.1974 [Study of Liquid Electrolytic Processes of Chemical and Thermal Treatment: PhD in Engineering: 05.16.01: defended 09.03.1974: approved. 07/10/1974] / Krukovich Marat Grigorievich. – Мн.: BSI, 1974. – 298 p. [in Russian]

8. Krukovich M.G. Razrabotka teoreticheskikh i prikladnykh aspektov upravleniya strukturoi i svoistvami borirovannykh sloev i ikh ispolzovanie pri proizvodstve transportnoi tekhniki: diss..... dokt. tekhn. nauk: 05.16.01: zashchishchena 22.06.1995: utv. 09.02.1996 [Development of Theoretical and Applied Aspects of the Management of the Structure and Properties of Borated Layers and their Use in the Manufacture of Transport Equipment: Thesis Abstract of PhD in Engineering: 05.16.01: defended 22.06.1995: approved. 02/09/1996] / Krukovich Marat Grigorievich. - М.: VNIIZHT, 1995. – 416 p. [in Russian]

9. Патент SU 2-522280 [Patent SU 2-522280] / Lyakhovich L.S., Krukovich M.G., Turov Yu.V., Naumchik A.A., Levitan S.N. Sostav sredy dlya tsirkonosilitsirovaniya [Composition of the Media for Zirconium-silicon] [in Russian]

10. Патент SU 411168 [Patent SU 411168] / Lyakhovich L.S., Kosachevsky L.N., Krukovich M.G., Turov Yu.V. Sposob silitsirovaniya metallov i splavov [Method of Silicification of Metals and Alloys]. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.004>**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПЭО-ПОКРЫТИЙ НА МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ, ПОЛУЧЕННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ**

Научная статья

**Мукаева В.Р.<sup>1,\*</sup>, Фаррахов Р.Г.<sup>2</sup>, Лазарев Д.М.<sup>3</sup>, Горбатков М.В.<sup>4</sup>, Парфенов Е.В.<sup>5</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8483-6408;<sup>5</sup> ORCID: 0000-0003-0113-314X;<sup>1, 2, 3, 5</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия;<sup>4</sup> ООО «ПРОМ-ТЭК», Уфа, Россия

\* Корреспондирующий автор (veta\_mr[at]mail.ru)

**Аннотация**

Проведены исследования коррозионных свойств образцов из магниевого сплава AZ31 без покрытия и с оксидным покрытием, сформированным методом плазменно-электролитического оксидирования. В результате оксидирования получено значительное уменьшение токов коррозии. Рассмотрены различия форм поляризационных кривых для образцов с покрытиями, полученными в импульсном униполярном и импульсном биполярном режиме обработки на частоте 3-3,5 кГц. Покрытия, сформированные в импульсном униполярном режиме проявили меньшую устойчивость к питтинговой коррозии.

**Ключевые слова:** магниевый сплав, коррозионные свойства, плазменно-электролитическое оксидирование, биорезорбция.

**RESEARCH OF CORROSION PROPERTIES OF PEO-COATINGS ON MAGNESIUM ALLOYS OBTAINED IN VARIOUS ELECTRIC MODES**

Research article

**Mukaeva V.R.<sup>1,\*</sup>, Farrakhov R.G.<sup>2</sup>, Lazarev D.M.<sup>3</sup>, Gorbatkov M.V.<sup>4</sup>, Parfenov E.V.<sup>5</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8483-6408;<sup>5</sup> ORCID: 0000-0003-0113-314X;<sup>1, 2, 3, 5</sup> Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia;<sup>4</sup> Ltd «PROM-TEK», Ufa, Russia

\* Corresponding author (veta\_mr[at]mail.ru)

**Abstract**

The article studies corrosion properties of the samples from magnesium alloy AZ31 without coating and with oxide coating received with the help of plasma electrolytic oxidation. As a result of oxidation, a significant decrease in corrosion currents is obtained. Differences in the shapes of polarization curves for samples with coatings obtained in pulsed unipolar and pulsed bipolar processing at a frequency of 3-3.5 kHz are considered. Coatings formed in a pulsed unipolar mode showed less resistance to pitting corrosion.

**Keywords.** magnesium alloy, corrosive properties, plasma electrolytic oxidation, bioresorption.

**Введение**

Магниевого сплавы, благодаря своим механическим свойствам, широко используются в автомобильной и аэрокосмической промышленности. В настоящее время возрастает интерес использования магневых сплавов в медицине, как к материалу для изготовления временных биорезорбируемых имплантатов для травматологии. Недостатком магневых сплавов является восприимчивость к коррозионной среде, что приводит к слишком высокой скорости биорезорбции в теле человека, поэтому в настоящее время на мировом уровне активно проводятся исследования по повышению коррозионных свойств магневых изделий [1], [2]. Одним из путей решения данной проблемы является формирование на поверхности магниевого сплава защитного покрытия методом плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО). ПЭО является относительно новой экологически чистой технологией, близкой к процессу электрохимического анодирования, но реализуемой при высоких напряжениях. ПЭО-покрытия обладают хорошей адгезией, улучшают износостойкость и коррозионную стойкость [3]. Пористая структура ПЭО-покрытий является благоприятной основой для последующего нанесения органических покрытий, повышающих биосовместимость. Однако увеличение пористости приводит к уменьшению коррозионной стойкости, поэтому обработку рекомендуется проводить на более высоких частотах, соответствующих меньшему размеру пор [4]. Большинство исследований ПЭО покрытий на магневых сплавах описывается для униполярного импульсного режима [5], только отдельные работы проводятся с биполярными импульсами [6]. Поэтому в работе проводится сравнение двух режимов в экологичном электролите, не содержащем фториды.

**Методы и принципы исследования**

Эксперименты проводились с использованием образцов из магниевого сплава AZ31, элементный состав которых установлен с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра EDX-800P и представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Элементный состав исследуемого сплава

Элемент	Mg	Al	Zn	Прочее
Содержание, %	94,91	4,53	0,42	0,14

Поверхность шлифовалась всухую наждачной бумагой зернистостью Р2000. Формирование ПЭО-покрытий проводилось на автоматизированной технологической установке, разработанной на кафедре ТОЭ УГАТУ, в силикатно-щелочном электролите [7]. ПЭО проводилось в двух электрических режимах: импульсном униполярном (PUP) и импульсном биполярном (РВР). Поддерживалась амплитуда положительных импульсов 470 В, отрицательных 100 В. Положительные и отрицательные импульсы следовали с частотой 3136 Гц с коэффициентом заполнения 50% и 20% соответственно. Обработка длилась 5 минут.

Толщина покрытия измерялась вихретоковым толщиномером для диэлектрических покрытий на металлических подложках Defelsko Positector 6000 с встроенным датчиком типа N. Шероховатость поверхности образцов измерялась профилометром TR220.

Электрохимические исследования проводились с помощью потенциостата-гальваностата-импедансметра Элинек Р-5Х (Россия) в растворе Рингера в трехэлектродной ячейке объемом 80 мл с хлоридсеребряным электродом сравнения и платиновым противэлектродом. Испытания проводились при температуре 37 градусов. Было проведено измерение электродного потенциала и поляризационных кривых. Ток и ЭДС коррозии вычислялись по поляризационным кривым методом Тафеля [8].

### Результаты и обсуждения

В результате экспериментов в РВР и РUP режимах получены образцы с ПЭО покрытиями, характеристики которых в сравнении с образцом без покрытия представлены в таблице 2. В РВР режиме получено покрытие большей толщины, чем в РUP режиме. Подобные результаты были получены для другого магниевого сплава и описаны [9]. Параметры шероховатости также различаются. Характеристики  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $R_z$ ,  $R_y$  и др. [10], связанные с амплитудой неровностей выше у РВР-образца. В таблице 2 приведены значения средняя шероховатость  $R_a$ . Однако, плотность неровностей для РВР-образца меньше, о чем свидетельствует большее значение среднего шага неровностей профиля  $R_{Sm}$ .

На рис. 1 представлены поляризационные кривые. В таблице 2 приведены результаты расчетов коррозионных характеристик образцов: ЭДС коррозии  $E_k$  и ток коррозии  $I_k$ . Значение  $I_k$  связано как с морфологией, так и с фазовым составом покрытия. РUP-образец поверхности показывает наименьший ток коррозии.

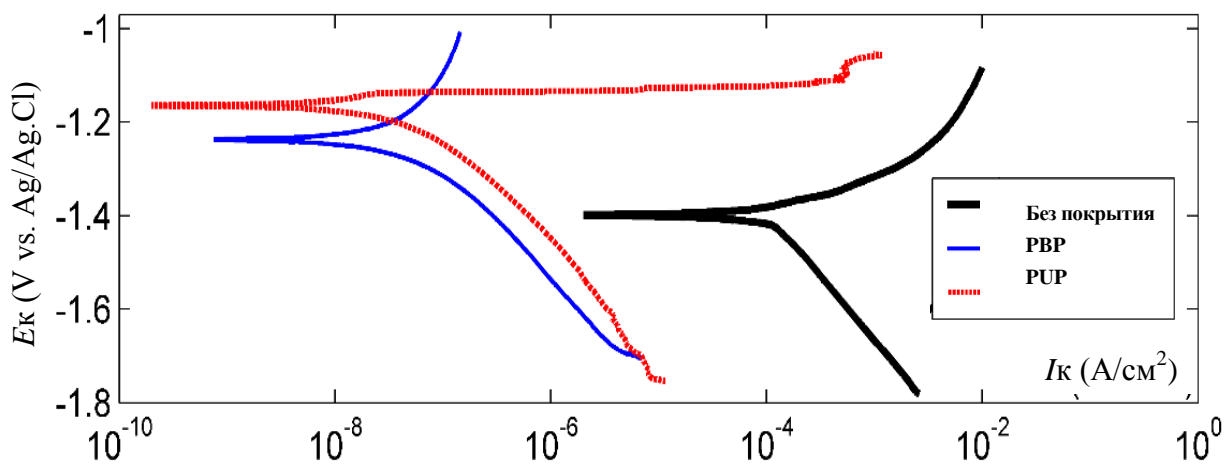


Рис. 1 – Поляризационные кривые для образцов, обработанных в различных режимах ПЭО

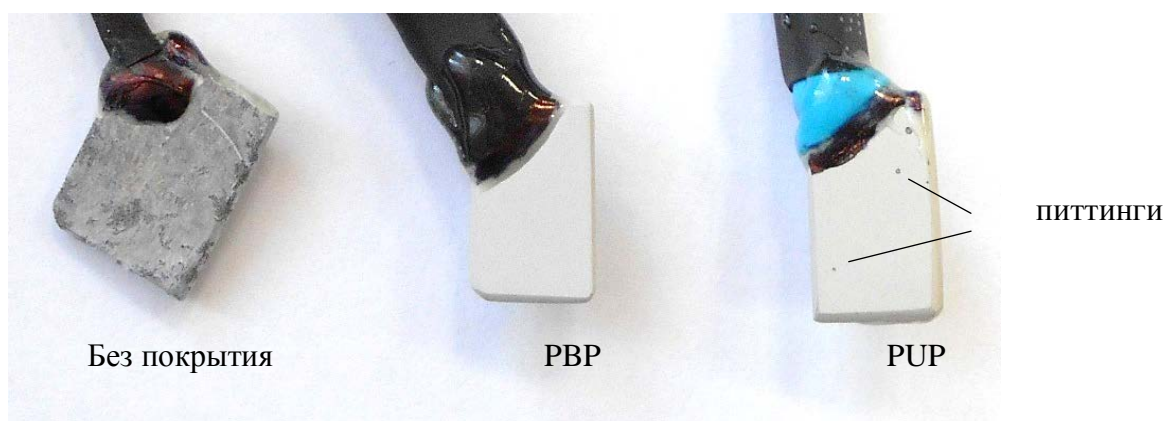


Рис. 2 – Фотография образцов после коррозионных тестов

Таблица 2 – Коррозионные свойства исследуемых образцов и параметры ПЭО-покрытия до обработки

№ образца	Режим ПЭО	Ток коррозии I <sub>к</sub> , А/см <sup>2</sup>	ЭДС коррозии E <sub>к</sub> , В	Толщина покрытия, h, мкм	Шероховатость Ra, мкм	Средний шаг неровностей профиля RSm, мкм
1	Без покрытия	1,1·10 <sup>-4</sup>	-1.39	0	0,13±0,015	0,096±0,018
2	PBP	5,3·10 <sup>-8</sup>	-1.23	15,76±0,56	0,86±0,047	0,034±0,0024
3	PUP	4,7·10 <sup>-8</sup>	-1.16	12,28±0,79	0,72±0,035	0,027±0,0023

Сравнение поляризационных кривых показывает, что катодные участки имеют одинаковый Тафелевский наклон, что свидетельствует об одинаковой кинетике катодных процессов. Анодные участки поляризационных кривых для образца без покрытия и образца, обработанного в режиме PBP достаточно похожи и монотонно возрастают. Для образца, обработанного в режиме PUP при потенциале -1,14 В, на 0,02 В выше E<sub>к</sub>, наблюдается питтингообразование, сопровождающееся резким ростом тока на 4 порядка с последующей пассивацией; ток при этом стремится к току непокрытого образца. Кривая образца после ПЭО в режиме PBP не содержит резкого увеличения тока на анодном участке и может выходить на пассивацию. Образовавшиеся питтинги для PUP-образца показаны на рисунке 2. Состояние PBP - образца внешне не изменилось. На поверхности образца без покрытия наблюдается слой продуктов коррозии. Устойчивость PBP – образцов к анодной поляризации может быть связано с более толстым внутренним слоем ПЭО-покрытия и отличием в фазовом составе.

#### Заключение

В работе показано, что ПЭО-покрытие позволяет значительно уменьшить токи коррозии магниевого сплава. Покрытия, сформированные методом ПЭО на частоте порядка 3-3,5 кГц в PBP режиме обладают лучшими защитными свойствами, по сравнению с PUP-образцами.

#### Финансирование

Исследование ПЭО магниевых сплавов осуществляется в рамках работы по программе Стипендии Президента РФ СП-1962.2019.4.

#### Конфликт интересов

Не указан

#### Funding

The study of PEO of magnesium alloys is carried out as part of the Scholarship program of the President of the Russian Federation SP-1962.2019.4.

#### Conflict of Interest

None declared

#### Список литературы / References

1. Zheng Y.F. Biodegradable metals / Y.F. Zheng, X.N. Gu, F. Witte // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2014. – Vol. 77, P. 1-34. doi: 10.1016/j.mser.2014.01.001.
2. Radha R. Insight of magnesium alloys and composites for orthopedic implant applications – a review / R. Radha, D. Sreekanth // Journal of Magnesium and Alloys. – 2017. Vol. 5(3). – P. 286–312. doi: 10.1016/j.jma.2017.08.003.
3. Gnedenkov S.V. PEO coatings obtained on an Mg–Mn type alloy under unipolar and bipolar modes in silicate-containing electrolytes / S.V. Gnedenkov, O.A. Khrisanova, A.G. Zavidnaya, S.L. Sinebryukhov, V.S. Egorkin, M.V. Nistratova // Surface and Coatings Technology – 2010. – Vol. 204. – P. 2316–2322. doi: 10.1016/j.surfcoat.2009.12.024.
4. Lv G.-H. Effects of Current Frequency on the Structural Characteristics and Corrosion Property of Ceramic Coatings Formed on Magnesium Alloy by PEO Technology / H. Chen, W.-C. Gu, L. Li, E.-W. Niu, X.-H. Zhang, S.-Z. Yang // J Mater Process Tech. – 2008. – Vol. 208. – P. 9–13. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.12.125.
5. Barati Darband Gh. Plasma electrolytic oxidation of magnesium and its alloys: Mechanism, properties and applications / Gh. Barati Darband, M. Aliofkhaezrai, P. Hamghalam, N. Valizade // Journal of Magnesium and Alloys. – 2017. Vol. 5(1). – P. 74–132. doi: 10.1016/j.jma.2017.02.004.
6. Hussein R.O. The Effect of Current Mode and Discharge Type on the Corrosion Resistance of Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) Coated Magnesium Alloy AJ62/ R.O. Hussein, P. Zhang, X. Nie, Y. Xia, D.O. Northwood // Surface and Coating Technology. – 2011. – Vol. 206. – P. 1990–1997. doi: 10.1016/j.surfcoat.2011.08.060.
7. Парфенов Е.В. Автоматизированная технологическая установка для исследования электролитно-плазменных процессов / Е. В. Парфенов, Р. Г. Фаррахов, В. Р. Мукаева, М. В. Горбатов, И. А. Мелемчук, А. Г. Стоцкий, Я. В. Чернейкина, // Вестник УГАТУ. – 2016. Т.20. – №4 (74). С. – 23–31.
8. Scully J.R. Polarization resistance method for determination of instantaneous corrosion rates / J.R. Scully // Corrosion, 2000. 56(2), P.199-218. doi: 10.5006/1.3280536.
9. Mukaeva V.R. Diagnostics of the thickness of a plasma electrolytic oxidation coating on a nanostructured Mg-Sr alloy / V.R. Mukaeva, O.B. Kulyasova, R.G. Farrakhov, E.V. Parfenov, Y.F. Zheng // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 292(1), 012067. doi: 10.1088/1757-899X/292/1/012067
10. ГОСТ 2789-73 – 2006. Межгосударственный стандарт. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Введ. 1975–01–01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Zheng Y.F. Biodegradable metals / Y.F. Zheng, X.N. Gu, F. Witte // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2014. – Vol. 77, P. 1-34. doi: 10.1016/j.mser.2014.01.001
2. Radha R. Insight of magnesium alloys and composites for orthopedic implant applications – a review / R. Radha, D. Sreekanth // Journal of Magnesium and Alloys. – 2017. Vol. 5(3). – P. 286–312. doi: 10.1016/j.jma.2017.08.003
3. Gnedenkov S.V. PEO coatings obtained on an Mg–Mn type alloy under unipolar and bipolar modes in silicate-containing electrolytes / S.V. Gnedenkov, O.A. Khrisanova, A.G. Zavidnaya, S.L. Sinebryukhov, V.S. Egorkin, M.V. Nistratova // Surf. Coat. Technol. – 2010. – Vol. 204. – P. 2316–2322. doi: 10.1016/j.surfcoat.2009.12.024



4. Lv G.-H. Effects of Current Frequency on the Structural Characteristics and Corrosion Property of Ceramic Coatings Formed on Magnesium Alloy by PEO Technology / G.-H. Lv, H. Chen, W.-C. Gu, L. Li, E.-W. Niu, X.-H. Zhang, S.-Z. Yang // J Mater Process Tech. – 2008, – Vol. 208. – P. 9–13. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.12.125.
5. Barati Darband Gh. Plasma electrolytic oxidation of magnesium and its alloys: Mechanism, properties and applications / Gh. Barati Darband, M. Aliofkhazraei, P. Hamghalam, N. Valizade // Journal of Magnesium and Alloys. – 2017. Vol. 5(1). – P. 74–132. doi: 10.1016/j.jma.2017.02.004.
6. Hussein R.O. The Effect of Current Mode and Discharge Type on the Corrosion Resistance of Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) Coated Magnesium Alloy AJ62/ R.O. Hussein, P. Zhang, X. Nie, Y. Xia, D.O. Northwood // Surface and Coating Technology. – 2011. – Vol. 206. – P. 1990–1997. doi: 10.1016/j.surfcoat.2011.08.060.
7. Parfenov E.V. Avtomatizirovannaya tehnologicheskaya ustanovka dlya issledovaniy elektrolitno-plazmennih processov [Automated technological equipment for research into electrolytic plasma processes] / E. V. Parfenov, R.G. Farrakhov, V.R. Mukaeva, M.V. Gorbakov, I.A. Melemchuk, A.G. A.G. Stozkii, Ya.V. Cherneikina. // Vestnik UGATU [Ufa State Aviation Technical University]. – 2016. Vol. – 20. – №4 (74). P. – 23–31. [in Russian]
8. Scully J.R. Polarization resistance method for determination of instantaneous corrosion rates / J.R. Scully // Corrosion, 2000. 56(2), P.199-218. doi: 10.5006/1.3280536
9. Mukaeva V.R. Diagnostics of the thickness of a plasma electrolytic oxidation coating on a nanostructured Mg-Sr alloy / V.R. Mukaeva, O.B. Kulyasova, R.G. Farrakhov, E.V. Parfenov, Y.F. Zheng // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 292(1), 012067
10. GOST 2789-73 – 2006. Sherohovatost poverhnosti. Parametri i harakteristiki [Interstate standard. Surface roughness. Parameters and characteristics] . M.: Standartinform, 2006. – Vved. 1975–01–01. – M.: Standartinform, 2006. – 7 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.005>**СРАВНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СНИМКОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ**

Обзор

**Панин Д.Н.<sup>1</sup>, Гурьев Г.И.<sup>2,\*</sup>, Пожидаев И.В.<sup>3</sup>, Яковлев С.А.<sup>4</sup>**<sup>1, 2, 3, 4</sup> Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

\* Корреспондирующий автор (glebka10g[at]mail.ru)

**Аннотация**

В данной статье рассматривается тема обработки цифровых снимков с беспилотных летательных аппаратов. Цифровая фотосъемка таким способом стала очень востребована во многих сферах деятельности человека. В настоящее время это считается одним из самых простых способов фотосъемки в процессе обработки и отличается высоким качеством изображения. Обработка происходит по-разному, в каждой сфере деятельности делают это так как необходимо им. Самыми известными и простыми способами и средствами для обработки цифровых фотоснимков пользуются все, кто хоть как-то связан с данной сферой деятельности.

**Ключевые слова:** квадрокоптеры, дрон, фотосъемка, беспилотные аппараты.

**COMPARISON OF DIGITAL PHOTOGRAPHS RECEIVED FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES AND ARTIFICIAL SATELLITES OF THE EARTH**

Review

**Panin D.N.<sup>1</sup>, Gurev G.I.<sup>2,\*</sup>, Pozhidaev I.V.<sup>3</sup>, Yakovlev S.A.<sup>4</sup>**<sup>1, 2, 3, 4</sup> Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

\* Corresponding author (glebka10g[at]mail.ru)

**Abstract**

This article discusses the topic of processing digital images from unmanned aerial vehicles. Digital photography has become very popular in many areas of human activity. Currently, it is considered one of the easiest ways to photograph during processing and is characterized by the high image quality. Processing takes place in different ways depending on the field of activity. The most famous and simplest ways and means for processing digital photographs are used by everyone at least somehow connected with this field of activity.

**Keywords:** quadcopters, drone, photography, unmanned aerial vehicles.

**Введение**

Цель: произвести сравнение цифровой съемки с БПЛА и с искусственных спутников Земли.

Задачи:

- 1) Рассмотреть способы съемки со спутников Земли
- 2) Рассмотреть способы съемки с БПЛА
- 3) Сравнить в различных аспектах способы получения цифровых снимков.

Квадрокоптер – это беспилотный летательный аппарат (БПЛА) с четырьмя пропеллерами, который управляется с помощью дистанционного пульта. По своему назначению БПЛА подразделяются на несколько видов: развлекательные, профессиональные, разведывательные, боевые [1]. Управлять БПЛА можно как в автоматическом режиме с помощью оператора, так и гибридным способом. Квадрокоптеры - это уже не средство для развлечения, а профессиональное оборудование для разных сфер деятельности. Разберём несколько видов деятельности, где уже применяется дроны.

**Применение БПЛА в разных сферах деятельности в настоящее время**

Совсем недавно начались массовые закупки БПЛА, используемых в военной сфере. Данные устройства отличаются размерами, формами, целями применения для решения задач. Дроны применяются в местах боевых действий, масштабных мероприятиях, исследовании территории [2]. БПЛА находят широкое применение для охраны окружающей среды, исследования и отслеживания популяции животных, определения ареала их обитания. Например, в национальных парках, когда происходит популяция животных и запрещен вход в национальные заповедники, дроны способны на невысоком расстоянии следить за животными. Уже в настоящее время квадрокоптеры применяются за отслеживанием популяции пингвинов в Антарктиде, мест обитания китов у побережья в Чили. Благодаря видеоматериалу полученных с БПЛА, учёные могут находить и поддерживать места обитания животных, которые находятся на грани вымирания [3].

Неоценимую роль БПЛА играют в оказании помощи людям, попавшим в стихийные бедствия и катастрофы. Когда сотрудники специальных служб не могут добраться до какого-либо места назначения, квадрокоптеры могут дистанционно исследовать данную местность с высоты и показывать полную обстановку сложившейся ситуации. В 2011 году применено тысячи дронов в Японии передавали видеоматериалы в реальном времени о повреждении атомной станции Фукусима-1 [4]. Помощь сотрудникам полиции. Многие беспилотные аппараты оснащаются тепловизорами с высокой чувствительностью к тепловому излучению. Позволяет в любую погоду получить детальное изображение объекта или территории. Широкую популярность БПЛА обрели при съемке в кинематографе. Многие квадрокоптеры имеют современные камеры для съемки и отличные стабилизаторы установленных в самих беспилотных аппаратов. Чаще всего применяются в массовых сценах, погонях, съемка с высоких объектов и т.п. [5].

В работе проанализированы фотоматериалы, полученные с дрона, и фотоматериалы, полученные со спутника. Проведено сравнение фотоснимков по нескольким аспектам. Спутниковые линзы используют малое количество пикселей на десятки сантиметров. Помимо того, чтобы сделать фотографию земной поверхности, у спутника всегда должна быть крышка, которая должна всегда закрывать линзу в то время, когда не ведётся фотосъёмка. Фотографии, сделанные со спутника, можно всегда найти в интернете, наша Земля была почти на 99% полностью сфотографирована спутниками. Конечно, фотографию определённого места на Земле, когда вы захотите, вы не получите со спутника, это дорогое удовольствие. Обработка фотографий занимает продолжительное время. Погода так же может вносить негативные аспекты для фотосъёмки со спутника. Рассмотрим принцип фотосъёмки с БПЛА. Современные летательные аппараты оснащены камерами с высоким разрешением. Однако время использования БПЛА ограничено из-за малой ёмкости аккумулятора. Расстояние для фото или видео съёмки тоже ограничено. Обработка снимков занимает минимальное количество времени. Возможна срочная фото или видео съёмка каких-либо объектов со всех ракурсов.

### Сравнение снимков

Для сравнения фотосъёмки с квадрокоптера и со спутника проведен эксперимент. Выбран объект, для которого необходимо сделать его 3D-модель. Объект исследования располагался на территории города Самары (Российская Федерация) - Храм в честь Собора Самарских Святых. Для того чтобы сделать фото и видео съёмку использовался дрон от компании «DJI Mavic Mini», который не нужно регистрировать, т.к. по постановлению Правительства РФ от 25.05.2019 № 658 регистрация беспилотных аппаратов подлежит массой от 0,25 килограмм. По документам, дрон компании «DJI Mavic Mini» имеет массу 249 граммов. Проведена фотосъёмка с беспилотного аппарата на высоте более 40 метров.



Рис. 1 – Храм вид сбоку и его лицевая сторона

По данным фотографиям мы создали цифровую модель храма.



Рис. 2 – Цифровая модель храма

Для того чтобы сделать цифровую модель храма мы использовали программу «Photoshop CS 6» и инструмент «Лассо», чтобы выделять объекты, которые нам необходимы. Увеличиваем масштаб изображения, чтобы все полностью захватить все детали. Выделяем полностью наш объект, копируем его, и ПКМ вставляем его на новый фон, и так проделываем со всеми снимками.

Так же мы взяли фотографии со спутника на сайте «google.ru/maps» того же объекта.

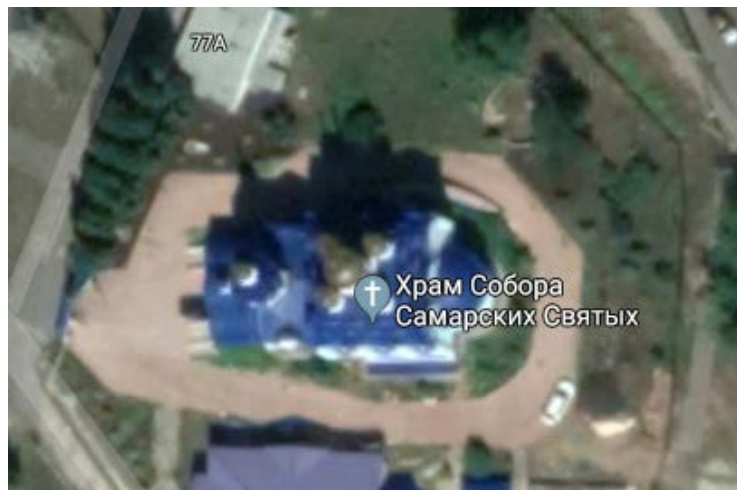


Рис. 3 – Снимок со спутника

Сделать цифровую модель из снимка на рисунке 3 невозможно, поскольку представлен только вид «сверху» и не видно отдельных деталей храма. По данным цифровым моделям храма визуализатор архитектурных сооружений может создать 3D-модель храма, как это реализовано на сайте 2gis.ru.

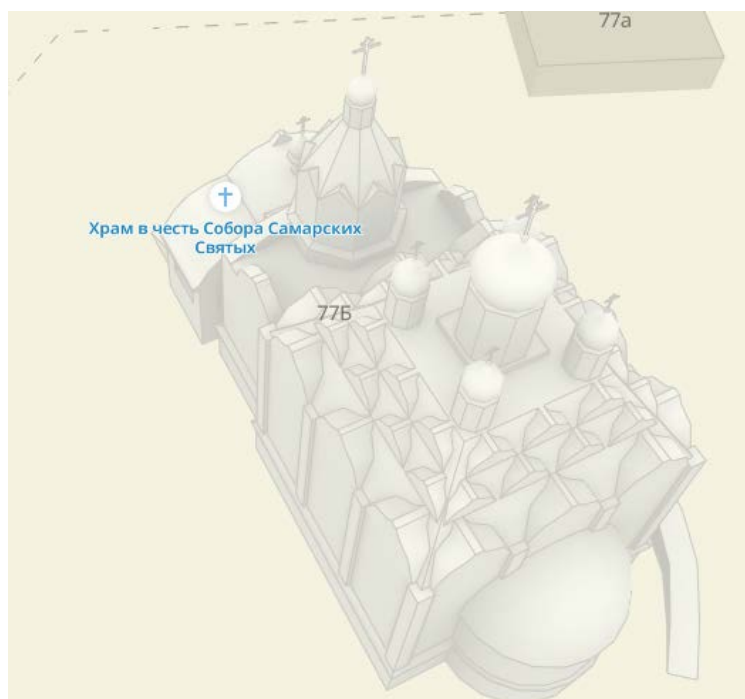


Рис. 4 – 3D-модель храма с сайта 2gis.ru

### Сравнение использования Беспилотного летательного аппарата и спутника Земли

**Время использования.** Время использования у беспилотников, может отличаться от многих факторов (модель, батарея, тип использования и т.п.), но эта цифра колеблется от 20 до 40 минут. У квадрокоптеров есть возможность смены батареи, и возможность времени увеличивается на десятки минут. Спутники Земли фотографируют нашу Землю, и полная карта нашей Земли есть в интернете. Можно в любой день, в любое время суток найти фотографии Земли и время само не ограничено.

**Качество съемки.** Спутники Земли имеют малое количество пикселей в камере, но увеличение линзы позволяет делать снимки, которые находятся на очень большом расстоянии от нас, но само качество таких снимков будет плохим. Многие квадрокоптеры имеют встроенную камеру, и в большинстве случаев она очень удобная (качество видео - или фото – материала, стабилизация и т.п.). Конечно, она не способна снимать на большом расстоянии как Спутники Земли. Но из-за качества съемки, и «под разным углом» она будет превосходить Спутники.

**Область применения.** Квадрокоптеры могут отдаляться на более 1000 метров от пульта управления, но после сигнал будет теряться. Спутники Земли, охватывают полностью нашу Землю и имеют больше область применения.

**Снимки в настоящее время.** Если нужно снять какой-либо объект, сооружение, фауну и т.п. на небольшом расстоянии квадрокоптер будет отличным вариантом для этого. На высоте более 300 метров, практически не различим в небе и мы его не услышим. Спутники лишь фотографирует Землю, многим снимкам, которые располагаются на картах более 3-5 лет, и они не обновлялись до сих пор.

**Цена съемки.** Конечно, цена будет намного дешевле, если даже приобрести новый дрон. Т.к. все спутники Земли принадлежат разным государствам или же каким-либо коммерческим организациям.

Таблица плюсов от фотосъёмки беспилотного аппарата и от фотосъёмки спутникового аппарата.

Таблица 1 – Сравнение фотоснимков с БПЛА и спутникового аппарата

Плюсы	Время использования	Качество съёмки	Область применения	Снимки в настоящее время	Цена съёмки
Беспилотные аппараты		+		+	+
Спутники Земли	+		+		

Подводя итоги можно сказать, что для работы с объектами большой площадью Земли, будет целесообразна съёмка со спутниковых объективов, для небольших участков Земли предпочтительны беспилотные аппараты, т.к. являются как экономически выгодным, так и удобным вариантом.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Афанасьев И.Б. Всевидящие очи космоса: фотошпионаж / Афанасьев И.Б., Воронцов Д.А. // Электронный журнал «Популярная механика». №4 (78), Апрель 2009, – URL: <https://www.popmech.ru> (дата обращения: 25.12.2019)
2. Лавренов С.Я. Война XXI века: стратегия и вооружение США / С. Я. Лавренов. – М.: АСТ, Астрель, Транзиткнига, 2005. – 314 с.
3. Евтихеев Н.Н. Бортовое радиоэлектронное и оптоэлектронное оборудование современных и перспективных летательных аппаратов [Текст]: учебное пособие / Н. Н. Евтихеев. М.: МИРЭА, 1994. - 84 с.
4. Hayat S. Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications View-point / S. Hayat, E. Yanmaz, and R. Muzaffar // IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 4, pp. 2624–2661, 2016.
5. Александров А.А. Вооружение, военная техника и боеприпасы [Текст]: сборник научных статей : форум лучших студентов технических вузов России, X Международная выставка «Вооружение, военная техника и боеприпасы» (Russia Arms Expo 2015), 10 сентября 2015 года, г. Нижний Тагил / МГТУ; ред.: А. А. Александров, В. К. Балтян. - М.: МГТУ, 2015 - Ч. 2. - 212 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Afanasev I.B. The all-seeing eyes of the cosmos: photospin / Afanasev I.B., Vorontsov D.A. // Electronic magazine "Popular mechanics". No. 4 (78), April 2009, – URL: <https://www.popmech.ru> (accessed: 25.12.2019) [in Russian]
2. Lavrenov S.Y. War of the XXI century: strategy and armament of the USA / Lavrenov S.Y. – Moscow: AST, Astrel, Tranzitkniga, 2005. – 314 PP. [in Russian]
3. Evtihev N.N. Avionics and optoelectronic equipment of modern and advanced aircraft [Text]: textbook / N. N. Evtihev. – Moscow: MIREA, 1994. - 84 p. [in Russian]
4. Hayat S. Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications View-point / S. Hayat, E. Yanmaz, and R. Muzaffar // IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 4, pp. 2624–2661, 2016.
5. Alexandrov A. A., Baltyan V. K. Armament, military equipment and ammunition [Text]: collection of scientific articles: forum of the best students of technical universities of Russia, X international exhibition "Armament, military equipment and ammunition" (Russia Arms Expo 2015), September 10, 2015, Nizhny Tagil / MSTU; ed.: A. A. Alexandrov, V. K. Baltyan. - Moscow: MGTU, 2015-Part 2. - 212 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.006>**ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ – ВАЖНЕЙШИЙ ЗАКОН ПРИРОДЫ**

Обзор

**Кузнецова А.И.<sup>1</sup>, Медведева Г.А.<sup>2</sup> \***<sup>1,2</sup> Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия

\* Корреспондирующий автор (medvedevaga79[at]mail.ru)

**Аннотация**

Статья посвящена второму закону термодинамики. Ученые считают, что он устанавливает существование энтропии как функции состояния системы. Однако исходя из последних исследований можно поставить под сомнение трактовку данного закона. Применим ли он в настоящее время? В статье рассмотрены его основные формулировки, представлены формулы для вычисления энтропии, выявлена связь второго начала термическим КПД. На основе полученной информации сделан вывод о значении второго начала термодинамики и его роли в современной науке.

**Ключевые слова:** второй закон термодинамики, процесс, цикл.

**SECOND LAW OF THERMODYNAMICS – THE MOST IMPORTANT LAW OF NATURE**

Review

**Kuznetsova A.I.<sup>1</sup>, Medvedeva G.A.<sup>2</sup> \***<sup>1,2</sup> Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

\* Corresponding author (medvedevaga79[at]mail.ru)

**Abstract**

The paper is devoted to the second law of thermodynamics. Scientists believe that it establishes the existence of entropy as a function of the state of the system. However, based on recent studies, the interpretation of this law can be called into question. Is it currently applicable? The article discusses its main formulations, presents formulas for calculating entropy, and reveals the relationship of the second law to thermal efficiency. Based on the information received, the authors draw a conclusion on the importance of the second law of thermodynamics and its role in modern science.

**Keywords:** second law of thermodynamics, process, cycle.

**Введение**

Все живые организмы подчиняются законам природы. Мы не можем преодолеть гравитацию точно так же, как и не можем остановить старение. Однако это не означает, что человек не стремится познать законы. Ежегодно ученые делают невероятные открытия. Например, в этом году швейцарцы Дидье Келоз и Мишель Майор получили нобелевскую премию за теоретические открытия в физической космологии. К сожалению, не все теории ученых подтверждаются на практике. Так люди на протяжении столетий верили в возможность самозарождения жизни. До двадцатого века главной причиной перемещения материков считалось расширение Земли. А химики считали, что атом имеет форму куба. Позднее данные теории были опровергнуты. Безусловно, существуют базовые, основополагающие законы, на которых строятся последующие исследования.

Одним из таких законов является второй закон термодинамики (ТД). Почему без знания второго закона ТД нельзя обойтись в современном мире? Действительно ли он является базовым законом?

Соберем информацию о сущности второго закона, его применении и на основе полученной информации выявим его значения для развития науки.

**Чем так важен 2 закон термодинамики?**

Для большинства природных процессов свойственна направленность и необратимость. Например, при теплообмене между телами или при диффузии. Мы легко можем распылить духи по комнате. Произойдет диффузия, перемешивание молекул воздуха и аромата. Собрать молекулы духов обратно во флакон мы не сможем. 1-ое начало термодинамики (ТД) гласит, что в протекающие в природе процессы, не противоречат закону сохранения энергии. Однако оно не объясняет все процессы, например, оно не отрицает переход тепла от более нагретого тела к менее нагретому. Для того, чтобы мы могли предсказать результат химической реакции, нам важно направление реакции.

Наблюдения ученых над тепловым двигателем показывают, что 1-ый з-н ТД не сможет полностью объяснить явления преобразования энергии. Превращение механической энергии во внутреннюю происходит без соблюдения каких-либо условий. Другими словами энергия полностью превращается в теплоту. При обратном превращении останется частичка  $\Delta U$ , не превращенной в механическую. Обобщая полученную информацию, в любом протекающем процессе возрастает степень неупорядоченности рассматриваемого объекта, то есть в мире происходит усиление беспорядка. Данный вывод представляет собой простейшую формулировку второго закона термодинамики. Величина, являющаяся мерой этого беспорядка, называется энтропией ( $S$ ) [1].

II-й з-н ТД является результатом обобщения многих экспериментов и опытов. Он устанавливает возможный  $\lim$  превращения теплоты ( $Q$ ) в энергию, а также указывает какое у теплового потока направление.

**Круговые циклы**

Как мы знаем, многие процессы в природе цикличны. Движение планет, незатухающие колебания маятника являются яркими примерами. Также круговые циклы прекрасно иллюстрируют процессы преобразования энергии во втором законе ТД. Для того, чтобы лучше разобраться в происходящих процессах, рассмотрим цикл: (см. рисунок 1):



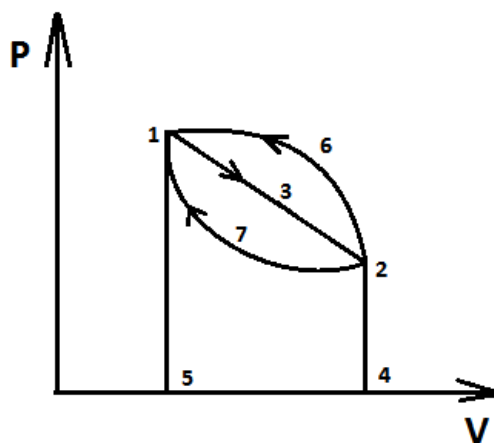


Рис. 1 – Круговой цикл

Из расширения тела по кривой 1-3-2 следует, что оно производит работу. Данную работу можно вычислить как площадь под графиком (плоскость 1-3-2-4-5 или по формуле работы  $L=P\Delta V$ ). Для дальнейшего производства работы ( $L$ ) тело должно вернуться в точку 1. По графику это можно сделать тремя путями:

- 2-3-1.  $L$  расширения газа равна работе сжатия (так как площади под прямыми равны). Это значит, что  $\Delta L$  будет равно 0;

- 2-6-1. Кривая 261 находится над кривой 132, а значит, на сжатие 2-6-1 затрачивается больше работы, чем получено при расширении;

- 2-7-1. Кривая 271 располагается под кривой 231. В данном круговом процессе работа сжатия будет наименьшей.  $\Delta L$  будет положительно и равняться площади 13271.

После того, как мы разобрались в механизме процессов, рассмотрим более подробно сам второй закон термодинамики.

#### Формулировка второго закона термодинамики

Для того, чтобы понять II-й з-н ТД, рассмотрим основные его формулировки:

- Карно утверждал, что «повсюду, где есть разность температур, может возникать движущая сила. Она может зависеть только от температуры тела, между которыми происходит перенос теплоты».

- Более обобщенную формулировку закона дал Клаузиус, немецкий физик. «Если единым результатом в процессе может быть передача  $Q$  от холодного тела к нагретому, то данный процесс не будет происходить».

- Одновременно с Клаузиусом Томсоном была высказана похожая формулировка: «Невозможен процесс, единственным результатом которого является совершение работы за счет охлаждения одного тела».

- Современные же ученые считают, что II-ой з-н ТД является законом об  $S$ , то есть устанавливает ее существование как функции состояния системы» [2].

#### Энтропия как важная часть второго закона

Что такое энтропия ( $S$ )? Чем она так важна? Больцман говорил « $S$  – показатель неупорядоченности системы». На примере воды рассмотрим ее работу. В твердом состоянии молекулы упорядочены, так как находятся в составе кристаллической решетки. В жидком же состоянии они перемещаются хаотично, то есть вода представляет собой неупорядоченную структуру. Соответственно мера беспорядка, энтропия, воды будет больше, чем льда. Больцман утверждал, что без изменения внешних условий вода не сможет превратиться в лед [3]. В замкнутых системах  $S$  не может уменьшаться. Мы знаем, что при уменьшении температуры ( $T$ ) системы уменьшается скорость движения молекул, а значит, увеличивается упорядоченность системы. Если отвести  $Q$  от системы,  $S$  уменьшится.

В конечном итоге система стремится к состоянию, в котором:

- Вся полезная работа превратилась в теплоту;
- У всех тел системы одинаковая  $T$ ;
- Произошло выравнивание давления и концентрация.

В данном состоянии энтропия достигает своего максимального значения, системе больше нет смысла изменяться.

Не менее важным является факт, что энтропия определяет возможность самопроизвольного протекания реакций. Система стремится к понижению энергии, а значит, самопроизвольно протекают процессы, которые увеличивают степень беспорядка или энтропии [4].

Для определения степени неупорядоченности системы вычисляют энтропию. Все реальные процессы протекают под действием конечной разности температур или концентраций, из чего следует:

$$dS \geq \frac{dQ}{T}$$

где  $dS$  – изменение энтропии;

$dQ$  – изменение теплоты;

$T$  – температура в кельвинах [5].

Точную величину значения энтропии вычисляют, например, для химических реакций. Она позволяет найти условия равновесия в реакциях, что является необходимым для дальнейшего проведения эксперимента.

Интересный факт: в настоящее время ведутся споры, являются ли черные дыры наибольшим источником энтропии или хаос передается в окружающее пространство не в столь значительных количествах благодаря мощным гравитационным силам [6].

### Термический КПД

Как мы выяснили, II-й закон ТД указывает направление энергетических превращений. Для данных превращений используют огромное множество различных машин. Как же понять, какая машина работает лучше? Мы знаем, что не существует идеальных машин, которые могут работать без потери энергии. Максимизировать вырабатываемую энергию – одна из основных задач ученых. Так как они определяют степень совершенства машин?

Одной из характеристик является КПД. КПД – коэффициент полезного действия. Он показывает, какую часть теплоты машина может преобразовать в  $L$ . Соответственно, чем выше КПД, тем выше эффективность [7].

Рассмотрим круговой процесс (см. рисунок 1), рассчитаем  $L$  и удельное количество теплоты ( $q$ ).

•172: тело расширяется, следовательно, за счет теплоты  $q_{172}$  совершается положительная работа  $L_{172}$ . Часть теплоты получается от теплоотдатчика, часть за счет внутренней энергии  $\Delta U$ . По первому закону термодинамики  $q_{172} = L_{172} + \Delta U$ ;

•261: тело сжимается, то есть затрачивается работа  $-L_{261}$ . Одна часть идет на увеличение внутренней энергии  $\Delta U$ , другая часть  $-q_{261}$  отводится в теплоприемник. По I-ому закону ТД  $-q_{261} = -L_{261} + \Delta U$  [7].

Мы рассмотрели прямой цикл, в результате которого тело отдает работу:  $L_{\text{цикла}} = L_{172} - L_{261}$

Исходя из 1 з-на ТД  $\Delta U = L + Q$

$$q = q_{172} - q_{261} = \Delta U + (L_{172} - L_{261})$$

Так как тело пришло в начальное состояние, следовательно,  $\Delta U = 0$ . Отсюда получим формулу:  $q_{172} - q_{261} = L_{\text{цикла}}$ .

Существует общая формула для расчета КПД [4]:

$$\eta = \frac{(q_1 - q_2)}{q_1} = \frac{L}{q_1} = \frac{1 - q_2}{q_1}$$

Проанализируем формулу. По формуле КПД находится в прямой зависимости от количества теплоты, которое было преобразовано. Как было сказано ранее, ни одна машина не может полностью превращать всю энергию в работу, часть ее отводится в окружающую среду. Следовательно, КПД всегда  $< 1$  [8].

Таким образом, КПД используют для определения производительности машин. А второй закон термодинамики необходим для создания электродвигателей.

### Наиболее эффективный цикл – цикл Карно

Стремясь максимизировать КПД, французский физик Карно нашел круговой цикл, из которого можно получить максимальную работу. В 1824 он рассмотрел его в своем сочинении (см. рисунок 2):

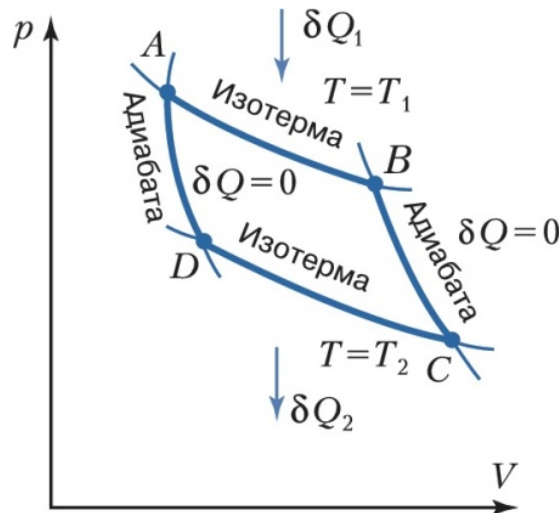


Рис. 2 – Цикл Карно

Рассмотрим цикл детально:

- Точка A: телу подводится теплота  $Q_1$  от источника тепла;
- Точка B: тело изолируется от источника с адиабатным расширением, снижается его температура;
- Точка C: тело сообщается с холодным источником, отводится теплота  $Q_2$ ;
- Точка D: тело идет к начальному состоянию в результате адиабатного сжатия.

Подведенное и отведенное количество теплоты можно вычислить по изотермам [9]:

$$Q_1 = RT_1 \ln V_A / V_B$$

$$Q_2 = RT_2 \ln V_C / V_D$$

Почему были выбраны именно данные процессы? В адиабатном процессе  $\Delta Q = 0$ , то есть, нет потерь энергии. В изотермическом вся полученная  $Q$  превращается в  $L$ .

Так как КПД цикла Карно больше КПД других циклов, он служит своеобразным образцом при оценке тепловых двигателей. При сравнении с циклом Карно можно сделать вывод о степени совершенства тепловой машины. К сожалению, в реальных двигателях его осуществить невозможно из-за практических трудностей [10].



**Значение II-ого з-на ТД в настоящее время**

Проанализировав собранную информацию, можно выделить следующие значения:

- Указывает направления протекания процессов, фактически выделяя возможные среди них;
- Определяет состояние равновесия при данных условиях, определяя количество полученной  $L$ ;
- Устанавливает предел возможного самопроизвольного протекания процессов;
- Позволяет найти максимум энергии, которая может быть использовано;
- Устанавливает наиболее эффективные способы использования теплоты, определяя максимальный КПД;
- С помощью него можно выстроить температуру шкалу, которая не будет зависеть от выбора устройства для измерения температуры.

Все это имеет очень большое значение, как для исследования теоретических проблем физической химии, так и для решения различных задач прикладного характера.

**Заключение**

Таким образом, в сравнении с I-ым з-ом, II-ой закон обладает менее обширной областью применения. Он применим лишь к системам из большого числа частиц, так как носит статистический характер. Несмотря на это, второй закон имеет огромное значение: охватывает почти все естествознание. На нем основан весь спектр анализов, то есть большая часть астрофизики, вся теоретическая и физическая химия. Везде, где встречается превращение энергии молекул и атомов в механическую или электрическую энергию, необходим рассмотренный закон. А также применяемая в новейшее время с таким удивительным успехом гипотеза квант является естественным отпрыском второго начала термодинамики. Безусловно, прогресс не стоит на месте. В последних экспериментах ученые добились того, что тепло может начать переходить от холодного атома к горячему. Однако в данных исследованиях рассматривается квантовый мир, в котором действуют далеко не все законы физики.

II-ой закон ТД действительно является базовым законом, так как на нем базируются многие гипотезы, теоремы, а также базируются устройства различных приборов. Развитие современной науки не было бы возможно без данного закона.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Дикерсон Р. Основные законы химии / Р. Дикерсон, Г. Грей, Дж. Хейт. – М.: Мир, 1982. – Том 1. – 652 с.
2. Печенкин А.А. Второй закон термодинамики и его соотношение с христианской теологией [Электронный ресурс] / Печенкин А.А. // Новые идеи в философии: материалы II Междуна. науч. конф. (г. Казань, май 2016 г.). – Казань: БуК, 2016. – С. 36-43. – URL <https://moluch.ru/conf/philos/archive/175/10417/> (дата обращения: 14.12.2019).
3. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин - Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Высшая Школа, 1975. – 469 с.
4. By Lisa Zyga. Jan 10, 2011 [Электронный ресурс]. – URL: <http://phys.org/news/> (дата обращения: 10.03.2014).
5. Хохрин С.Н. Физическая химия. Термодинамика химических реакций: Учебное пособие / С.Н. Хохрин, К.А. Рожков, И.В. Лунегова. – СПб.: Лань, 2015. – 112 с.
6. Шапиро С.Л. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды / Шапиро С.Л., Тьюколски С. А. / пер. с англ. под ред. Я. А. Смородинского. М.: Мир, 1985.
7. Бондарев Б.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т. 3. Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества: Учебник для бакалавров / Б.В. Бондарев. – М.: Юрайт, 2013. – 369 с.
8. Ковалева Т.Ю. Механика. Молекулярная физика и термодинамика / Т.Ю. Ковалева. – М.: КноРус, 2012. – 952 с.
9. Морачевский А.Г. Физическая химия. Термодинамика химических реакций: Учебное пособие / А.Г. Морачевский, Е.Г. Фирсова. – СПб.: Лань, 2015. – 112 с.
10. Кузнецов С.И. Курс физики. Часть I. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика / С.И. Кузнецов. – СПб.: Лань, 2014. – 464 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Dickerson R. Osnovnye zakony himii [Basic laws of chemistry] / R. Dickerson, G. Gray, J. Haight. – М.: Mir, 1982. – Volume 1. – 652 p. [in Russian].
2. Pechenkin A. A. Vtoroj zakon termodinamiki i ego sootnoshenie s hristianskoj teologiej [The second law of thermodynamics and its relationship with Christian theology] [Electronic resource] // New ideas in philosophy: materials of the II Intern. scientific conf. (Kazan, May 2016). – Kazan: Buk, 2016. – P. 36-43. – URL <https://moluch.ru/conf/philos/archive/175/10417/> (accessed: 14.12.2019) [in Russian].
3. Nashchokin V.V. Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha [Technical thermodynamics and heat transfer] / V.V. Nashchokin – Ed. 2nd, rev. and add. – М.: Higher School, 1975. – 469 p. [in Russian].
4. By Lisa Zyga. Jan 10, 2011 [Electronic resource]. URL: <http://phys.org/news/> (accessed: 03/10/2014). [in Russian].
5. Khokhrin S.N. Fizicheskaya himiya. Termodinamika himicheskikh reakcij: Uchebnoe posobie [Physical chemistry. Thermodynamics of chemical reactions: Textbook] / S.N. Khokhrin, K.A. Rozhkov, I.V. Lunegova. – St. Petersburg: Doe, 2015. – 112 p. [in Russian].
6. Shapiro S.L. Chernye dyry, belye karliki i nejtronnnye zvezdy [Black holes, white dwarfs and neutron stars] / Shapiro S. L., Tjukolski S. A. / trans. from English under the editorship of J. A. Smorodinsky. М.: World, 1985. [in Russian].
7. Bondarev B.V. Kurs obshchej fiziki [General physics course]. In 3 vols. V. 3. Thermodynamics. Statistical Physics. The structure of the substance: Textbook for bachelors / B.V. Bondarev. – М.: Yurayt, 2013. – 369 p. [in Russian].
8. Kovaleva T.Yu. Mekhanika. Molekulyarnaya fizika i termodinamika [Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics] / T.Yu. Kovaleva. – М.: KnoRus, 2012. – 952 p. [in Russian].
9. Morachevsky A.G. Fizicheskaya himiya. Termodinamika himicheskikh reakcij: Uchebnoe posobie [Physical chemistry. Thermodynamics of chemical reactions: Textbook] / A.G. Morachevsky, E.G. Firsova. – St. Petersburg: Doe, 2015. – 112 p. [in Russian].
10. Kuznetsov S.I. Kurs fiziki. Chast' I. Mekhanika. Molekulyarnaya fizika. Termodinamika [Physics course. Part I. Mechanics. Molecular physics. Thermodynamics] / S.I. Kuznetsov. – St. Petersburg: Doe, 2014. – 464 p. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.007>**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ ВО ВСТРОЕННОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ IOT УСТРОЙСТВ**

Научная статья

**Тавасиев Д.А.<sup>1,\*</sup>, Команов П.А.<sup>2</sup>, Ревазов Х.Ю.<sup>3</sup>, Семиков В.С.<sup>4</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7859-9461;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-5640-2322;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-3358-6197;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

\* Корреспондирующий автор (d.tavasiev1997[at]gmail.com)

**Аннотация**

Актуальность и постановка задачи: На сегодняшний день, уязвимости во встроенном программном обеспечении устройств интернета вещей составляют серьезную угрозу, так как злоумышленники проэксплуатировав уязвимости получают удаленный доступ к устройствам, что позволяет им формировать ботнеты, которые в дальнейшем используются для захвата новых устройств или организации серьезных DDos атак. Поэтому на данный момент существует острая потребность в повышении эффективности методов выявления уязвимостей во встроенном программном обеспечении. Целью работы является повышение эффективности процесса обнаружения уязвимостей во встроенном программном обеспечении IoT устройств. Объектом исследования выступает защищенность встроенного программного обеспечения IoT устройств. Предметом исследования являются методы обнаружения уязвимостей во встроенном программном обеспечении IoT устройств. Используемые методы: решением проблемы является полная, либо частичная автоматизация этапов поиска уязвимостей по методологии OWASP Firmware Security Testing Methodology 2019 во встроенном программном обеспечении устройств интернета вещей. Новизна: элементами практической новизны являются предложенные в работе решения, позволяющее автоматизировать отдельные этапы процесса поиска уязвимостей.

**Ключевые слова:** IoT, уязвимости в встроенном программном обеспечении, поиск уязвимостей, OWASP Firmware Security Testing Methodology 2019.

**ANALYSIS OF VULNERABILITY DETECTION METHODS IN THE FIRMWARE OF IOT DEVICES**

Research article

**Tavasiev D.A.<sup>1,\*</sup>, Komanov P.A.<sup>2</sup>, Revazov H.Yu.<sup>3</sup>, Semikov V.S.<sup>4</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7859-9461;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-5640-2322;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-3358-6197;<sup>1, 2, 3, 4</sup> National Research ITMO University, St. Petersburg, Russia

\* Corresponding author (d.tavasiev1997[at]gmail.com)

**Abstract**

Relevance and statement of the problem: Today vulnerabilities in the firmware of the Internet of things devices constitute a serious threat, since attackers exploiting vulnerabilities gain remote access to devices, which allows them to form botnets, which are then used to capture new devices or organize serious DDos attacks. At present, there is an urgent need to improve the effectiveness of methods for identifying vulnerabilities in embedded software. The purpose of the work is improving the efficiency of the vulnerability detection process in the firmware of IoT devices. Methods used: the solution to the problem is the full or partial automation of the stages of vulnerability search according to the OWASP Firmware Security Testing Methodology 2019 methodology in the firmware of the Internet of things devices. Novelty: elements of practical novelty are the solutions proposed in the work, which allows automating individual stages of the vulnerability search process.

**Keywords:** IoT, firmware vulnerabilities, vulnerability search, OWASP Firmware Security Testing Methodology 2019.

**Введение**

Вместе с ежегодным ростом количества IoT устройств, растет потенциальное количество уязвимостей во встроенном программном обеспечении этих устройств. От того насколько быстро будет обнаружена уязвимость, зависит скорость выпуска патча, закрывающего эту уязвимость, следовательно существует потребность в повышении эффективности процесса выявления уязвимостей во встроенном программном обеспечении устройств интернета вещей. В данной работе предлагается решение, позволяющее повысить эффективность выявления уязвимостей путем автоматизации отдельных этапов процесса обнаружения уязвимостей во встроенном программном обеспечении IoT устройств.

**Анализ этапов выявления уязвимостей**

Процесс поиска уязвимостей во встроенном программном обеспечении по методологии OWASP Firmware Security Testing Methodology 2019 состоит из следующих этапов [1], [2]:

1. Сбор информации. На данном этапе изучается техническая документация, инструкции.

2. Получение прошивки. Прошивка может быть получена следующими способами: от команды разработчиков или клиента, может быть собрана с нуля, с использованием инструкции от производителя, может быть получена с сайта производителя, может быть извлечена напрямую из аппаратного обеспечения через UART, JTAG, PICit и т.д.

3. Анализ прошивки. После получения образа прошивки, изучаются аспекты файла и его характеристики, проверяется не зашифрован ли бинарный файл, проверяется его энтропия [3].

4. Извлечение файловой системы. Исходя из данных, полученных на предыдущем этапе, из прошивки извлекается файловая система (и загрузчик).

5. Анализ содержимого файловой системы. На этом этапе собираются данные для этапов анализа времени выполнения и динамического анализа.

6. Эмуляция прошивки. Используя данные, полученные на предыдущих этапах, прошивка, а также инкапсулированные двоичные файлы могут быть эмулированы для проверки потенциальных уязвимостей.

7. Динамический анализ. На этом этапе выполняется динамическое тестирование, когда устройство работает в нормальной или эмулируемой среде. Цели на этом этапе могут варьироваться в зависимости от проекта и уровня предоставляемого доступа. Как правило, данный этап включает в себя анализ загрузчика конфигурации, веб-тестирование и API, фаззинг (сетевые и прикладные сервисы) [4], а также активное сканирование.

8. Анализ времени выполнения. Анализ во время выполнения включает в себя подключение к работающему процессу или двоичному файлу, пока устройство работает в своей нормальной или эмулированной среде [4].

9. Бинарная эксплуатация. После выявления уязвимости в двоичном файле на предыдущих этапах необходимо надлежащее подтверждение концепции (PoC) для демонстрации реального воздействия и риска.

Проанализировав этапы выявления уязвимостей во встроенном программном обеспечении и доступные на данный момент наборы различных инструментов и утилит, можно сделать вывод, что отдельные этапы процесса могут быть автоматизированы полностью, либо частично.

Этап анализа прошивки, для которого в основном используются следующие инструменты и утилиты: file, binwalk, strings, hexdump, может быть автоматизирован. Необходимо автоматически извлекать из бинарного файла прошивки архитектуру, под которую он скомпилирован, версию ядра и версию операционной системы. В случае ошибки извлечения этих данных, необходимо проверять энтропию файла [3]. Затем всю полученную информацию формировать в виде отчета и в виде выходного файла, необходимого для следующих этапов.

Для этапа извлечения файловой системы используются следующие инструменты и утилиты: binwalk, dd, unsquashfs, cpio, jefferson, ubidump.py, firmware-mod-kit [3]. Утилита binwalk (с ключем -e) позволяет автоматически извлекать некоторые файловые системы, но в ней не реализовано извлечение следующих файловых систем: squashfs, ubifs, romfs, jffs2, yaffs2, cramfs, initramfs. Для данных файловых систем необходимо реализовать автоматический расчет смещения, используя выходные данные с прошлого этапа, а затем их автоматическое извлечение. Выходными данными для следующих этапов является директория с распакованной файловой системой.

В ходе этапа анализа файловой системы необходимо автоматизировать поиск устаревших небезопасных сервисов, поиск в CVE-базах и Exploit-базах по версиям найденных сервисов, поиск жестко закодированных учетных данных (имена пользователей, пароли, ключи API, ключи SSH), функционал обновления прошивки, который может использоваться в качестве точки входа [2]. По окончании работы необходимо формировать выходные данные для следующих этапов и отчет с соответствующей информацией.

За счет введения автоматизации отдельных этапов процесса выявления уязвимостей во встроенном программном обеспечении IoT устройств, повышается скорость всего процесса в целом. Также при автоматизации исключается человеческий фактор, что снижает вероятность ошибки, то есть повышает точность и полноту [5].

Таким образом, показателями эффективности функционирования объекта исследования были определены скорость, точность и полнота процесса выявления уязвимостей во встроенном программном обеспечении. Далее необходимо определить методы и средства измерения этих параметров.

Расчет выявленных показателей эффективности процесса

Время затраченное на весь процесс поиска уязвимостей во встроенном по можно представить в виде суммы затраченного времени на каждый отдельный этап данного процесса, то есть:

$$T_{manual} = T_{ab} + T_{ext} + T_{an} + T_{oth} \quad (1)$$

где  $T_{ab}$  — время затраченное на ручной анализ прошивки,  $T_{ext}$  — время затраченное на ручное извлечение файловой системы и загрузчика,  $T_{an}$  — время затраченное на ручной анализ файловой системы и загрузчика,  $T_{oth}$  — время затраченное на остальные этапы анализа.

Так как в работе этап анализа файловой системы и загрузчика автоматизируется частично (автоматизируется только анализ файловой системы), то  $T_{an}$  можно представить в виде суммы времени затраченного на ручной анализ файловой системы и анализ загрузчика:

$$T_{an} = t_{fs} + t_{boot} \quad (2)$$

Тогда время затраченное на процесс поиска уязвимостей во встроенном программном обеспечении с автоматизацией отдельных этапов, можно представить следующей формулой:

$$T_{auto} = Ta_{ab} + Ta_{ext} + ta_{fs} + t_{boot} + T_{oth}, \quad (3)$$

где  $Ta_{ab}$  — время затраченное на автоматический анализ заголовков прошивки,  $Ta_{ext}$  — время затраченное на автоматическое извлечение файловой системы и загрузчика,  $ta_{fs}$  — время затраченное на автоматический анализ

файловой системы,  $t_{boot}$  — время затраченное на ручной анализ загрузчика,  $T_{oth}$  — время затраченное на остальные этапы анализа.

Чтобы рассчитать во сколько раз повысится скорость процесса необходимо разделить все время, затраченное на ручной анализ на все время, затраченное на анализ, использующий автоматизацию отдельных этапов:

$$k_t = \frac{T_{manual}}{T_{auto}}, \text{ следовательно:} \quad (4)$$

$$k_t = \frac{T_{ab} + T_{ext} + T_{an} + T_{oth}}{Ta_{ab} + Ta_{ext} + ta_{fs} + t_{boot} + T_{oth}} \quad (5)$$

Точность работы можно определить исходя из числа верно найденных уязвимостей и числа ложных срабатываний:

$$p = \frac{a}{a+b}, \quad (6)$$

где  $a$  — количество верно найденных уязвимостей,  $a$  — количество ложных срабатываний.

Также можно рассчитать полноту работы исходя из количества верно найденных уязвимостей и количества не найденных уязвимостей:

$$r = \frac{a}{a+c}, \quad (7)$$

где  $a$  — количество верно найденных уязвимостей,  $c$  — количество не найденных уязвимостей.

Далее необходимо рассчитать F-меру, которая используется как единая метрика, объединяющая метрики полноты и точности в одну метрику.

$$F = \frac{2}{\frac{1}{p} + \frac{1}{r}}, \quad (8)$$

где  $p$  — точность процесса,  $r$  — полнота процесса.

Чтобы рассчитать во сколько раз повысится точность и полнота процесса необходимо разделить значение F - меры ручного анализа на значение F-меры для анализа с автоматизацией отдельных этапов:

$$k_F = \frac{F_{manual}}{F_{auto}} \quad (9)$$

## Заключение

Для повышения эффективности процесса выявления уязвимостей во встроенном программном обеспечении IoT устройств, были проанализированы все этапы данного процесса. Затем были описаны способы полной, либо частичной автоматизации соответствующих этапов, что позволит увеличить скорость, точность и полноту процесса выявления уязвимостей.

## Конфликт интересов

Не указан.

## Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Kolehmainen S. Security of firmware update mechanisms within SOHO routers / Kolehmainen S. // University of Jyväskylä, Finland 2019, pp. 3-97.
2. Jeannotte B. Artorias: IoT Security Testing Framework / B. Jeannotte and A. Tekeoglu // 2019 26th International Conference on Telecommunications (ICT), Hanoi, Vietnam, 2019, pp. 233-237. doi: 10.1109/ICT.2019.8798846
3. Ma Y. SVM-based Instruction Set Identification for Grid Device Firmware / Y. Ma, L. Han, H. Ying, S. Yang, W. Zhao and Z. Shi // 2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC), Chongqing, China, 2019, pp. 214-218. doi: 10.1109/ITAIC.2019.8785564
4. Prashast S. FirmFuzz: Automated IoT Firmware Introspection and Analysis. / Prashast Srivastava, Hui Peng, Jiahao Li, Hamed Okhravi, Howard Shrobe, and Mathias Payer // In Proceedings of the 2nd International ACM Workshop on Security and Privacy for the Internet-of-Things (IoT S&P'19). 2019, ACM, New York, NY, USA, 15-21. doi: <https://doi.org/10.1145/3338507.3358616>
5. Markov A. The experience of comparison of static security code analyzers / Markov A., Fadin A., Shvets V., Tsirlov V. // International Journal of Advanced Studies. 2015. V. 5. N 3. P. 55-63.
6. Барабанов А.В. Статистика выявления уязвимостей программного обеспечения при проведении сертификационных испытаний / Барабанов А.В., Марков А.С., Фадин А.А., Цирлов В.Л. // Вопросы кибербезопасности. 2017. № 2 (20). С. 2-8.

7. Z. Zhang. IoT Security: Ongoing Challenges and Research Opportunities / Z. Zhang, M. C. Y. Cho, C. Wang, C. Hsu, C. Chen and S. Shieh // 2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, Matsue, 2014, pp. 230-234. doi: 10.1109/SOCA.2014.58
8. Hossain M.M. Towards an Analysis of Security Issues, Challenges, and Open Problems in the Internet of Things / M. M. Hossain, M. Fotouhi and R. Hasan // 2015 IEEE World Congress on Services, New York, NY, 2015, pp. 21-28. doi: 10.1109/SERVICES.2015.12
9. A. Riahi. A Systemic Approach for IoT Security / A. Riahi, Y. Challal, E. Natalizio, Z. Chtourou and A. Bouabdallah // 2013 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, Cambridge, MA, 2013, pp. 351-355. doi: 10.1109/DCOSS.2013.78
10. Zhou N.D. IoT as a Land of Opportunity for DDoS Hackers / N. Vljajic, D. Zhou // in Computer, vol. 51, no. 7, pp. 26-34, July 2018. doi: 10.1109/MC.2018.3011046

#### Список литературы на английском языке/References in English

1. Kolehmainen S. Security of firmware update mechanisms within SOHO routers / Kolehmainen S. // University of Jyväskylä, Finland 2019, pp. 3-97.
2. Jeannotte B. Artorias: IoT Security Testing Framework / B. Jeannotte and A. Tekeoglu // 2019 26th International Conference on Telecommunications (ICT), Hanoi, Vietnam, 2019, pp. 233-237. doi: 10.1109/ICT.2019.8798846
3. Ma Y. SVM-based Instruction Set Identification for Grid Device Firmware / Y. Ma, L. Han, H. Ying, S. Yang, W. Zhao and Z. Shi // 2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC), Chongqing, China, 2019, pp. 214-218. doi: 10.1109/ITAIC.2019.8785564
4. Prashast S. FirmFuzz: Automated IoT Firmware Introspection and Analysis. / Prashast Srivastava, Hui Peng, Jiahao Li, Hamed Okhravi, Howard Shrobe, and Mathias Payer // In Proceedings of the 2nd International ACM Workshop on Security and Privacy for the Internet-of-Things (IoT S&P'19). 2019, ACM, New York, NY, USA, 15-21. doi: <https://doi.org/10.1145/3338507.3358616>
5. Markov A. The experience of comparison of static security code analyzers / Markov A., Fadin A., Shvets V., Tsirlov V. // International Journal of Advanced Studies. 2015. V. 5. N 3. P. 55-63.
6. Barabanov A.V. Statistika vyyavleniya uyazvimostej programmnoy obespecheniya pri provedenii sertifikatsionnykh ispytaniy [Software vulnerability detection statistics for certification testing] / Barabanov A.V., Markov A.S., Fadin A.A., Cirlov V.L. // Voprosy kiberbezopasnosti. 2017. № 2 (20). P. 2-8. [in Russian]
7. Z. Zhang. IoT Security: Ongoing Challenges and Research Opportunities / Z. Zhang, M. C. Y. Cho, C. Wang, C. Hsu, C. Chen and S. Shieh // 2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, Matsue, 2014, pp. 230-234. doi: 10.1109/SOCA.2014.58
8. Hossain M.M. Towards an Analysis of Security Issues, Challenges, and Open Problems in the Internet of Things / M. M. Hossain, M. Fotouhi and R. Hasan // 2015 IEEE World Congress on Services, New York, NY, 2015, pp. 21-28. doi: 10.1109/SERVICES.2015.12
9. A. Riahi. A Systemic Approach for IoT Security / A. Riahi, Y. Challal, E. Natalizio, Z. Chtourou and A. Bouabdallah // 2013 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, Cambridge, MA, 2013, pp. 351-355. doi: 10.1109/DCOSS.2013.78
10. Zhou N.D. IoT as a Land of Opportunity for DDoS Hackers / N. Vljajic, D. Zhou // in Computer, vol. 51, no. 7, pp. 26-34, July 2018. doi: 10.1109/MC.2018.3011046

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.008>**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

Научная статья

**Федотов В.А.<sup>1,\*</sup>, Лукьянова Е.С.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3692-9722;<sup>1,2</sup> Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

\* Корреспондирующий автор (vital\_asm[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье описывается автоматизированная система мониторинга качества помола и принятия управленческих решений. В ее основе лежит экспрессный анализ геометрических характеристик частиц смолотой пшеницы. При формировании данных о формах и размерах частиц используются методики компьютерного зрения. Установленные эмпирические зависимости позволяют производить оценку твердозерности зерна – с точностью не менее 3 %, количества клейковины – не менее 3,8 %, ее качества – не менее 4,5 %. Благодаря оперативности проводимых определений технологических качеств продуктов переработки зерна, существует возможность коррекции помола и производства продукции с заданными потребительскими свойствами.

**Ключевые слова:** твердозерность, зерно пшеницы, вальцовые установки, размол зерна, гранулометрический анализ.

**USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF WHEAT GRAIN**

Research article

**Fedotov V.A.<sup>1,\*</sup>, Lukianova E.S.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3692-9722;<sup>1,2</sup> Orenburg State University, Orenburg, Russia

\* Corresponding author (vital\_asm[at]mail.ru)

**Abstract**

The article describes an automated system for monitoring the quality of grinding as well as taking managerial decisions. It is based on the express analysis of geometric characteristics of particles of ground wheat. Computer vision techniques are used when generating data related to the shapes and sizes of particles. Established empirical relationships enable the evaluation of the hardness of grain with an accuracy of at least 3%, while the amount of gluten comprises at least 3.8%, its quality – at least 4.5%. Due to the efficiency of the ongoing identification of technological qualities of grain processing products, there is a possibility of correcting the grinding and production of products with specified consumer properties.

**Keywords:** hardness, wheat grain, roll mill, grain grinding, particle size analysis.

**Введение**

Совершенствование управления качеством зерномучных товаров возможно за счет создания или модернизации систем контроля процесса переработки зерна на предприятиях. При проектировании таких систем возникает необходимость в формировании сведений о размалываемом материале еще на стадии размола – в потоках промышленного производства [1].

Необходимо оперативно проводить оценку потоков размолотого продукта не только для браковки и удаления дефектной массы. Подобная оценка позволяет спрогнозировать показатели качества производимых полуфабрикатов и продукции, а также изменить технологические параметры переработки, добиваясь в зависимости от качества сырья повышения производительности помола [2], [3].

Наличие оперативного контроля дает возможность варьировать технологические параметры обработки зерна. Оперативная корректировка позволяет оптимизировать процесс переработки зерна [4]. Улучшение качества продуктов переработки зерна достигается интерактивностью в управлении технологическими параметрами вальцовых станков – скоростью движения вальцов, зазором между ними, скоростью потока сырья и т.д.

Большое значение имеют характеристики структурно-механических свойств размалываемого зерна. В частности, для зерна пшеницы широко используется показатель твердозерности. Зерно различной твердозерности обладает различными технологическими свойствами. Эти различия передаются муке, крупе и другим зерномучным товарам [5].

Для технологов хлебопекарных и макаронных предприятий большое значение имеет оперативная оценка количества и качества клейковины в муке. На основе знаний об этих характеристиках муки принимается решение о предпочтительных влажности макаронного теста и температуре его замеса. В хлебопекарной отрасли количественно-качественные характеристики клейковины могут быть использованы для выбора оптимальной влажности опары и продолжительности замеса хлебопекарного теста [6], [7].

**Материалы и методы исследования**

Материалом исследований служило зерно 13-ти сортов пшеницы Оренбургской области урожая трех природно-климатических зон (восточная, центральная, западная) за 10 лет. Изучали твердую пшеницу шести сортов: Оренбургская 10, Безенчукская 200, Оренбургская 21, Безенчукская янтарь, Харьковская 3, Степь 3 и мягкую пшеницу семи сортов: Саратовская 42, Учитель, Оренбургская 13, Юго восточная 3, Варяг, Прохорова, Л-503.

Образцы зерна пшеницы подвергались одностороннему помолу на лабораторной мельнице. Варьируя зазор между вальцами мельницы, выход муки устанавливали на уровне 70 %. Качество полученных образцов муки оценивали комплексом показателей в соответствии с ГОСТ Р 52189-2003. Количество и качество сырой клейковины определяли по ГОСТ 27839 2013. Качество клейковины муки оценивали с помощью прибора ИДК-4.

Твердозерность зерна оценивали по значению его микротвердости на микротвердомере ПМТ-3. Показатель микротвердости характеризуется способностью материала сопротивляться деформации. Микротвердомером на срезах зерна наносились следы квадратной алмазной пирамидкой. Исходя из размера оставленного отпечатка, по специальным таблицам рассчитывали число твердости.

Производили микроснимки частиц промежуточных продуктов помола зерна цифровой камерой Sony Exmor. Полученные изображения обрабатывали программно техническим зрением с помощью программной среды OpenSourceComputerVision.

Исследования были проведены с 80 образцами пшеницы различной степени твердозерности. Пробные навески промежуточных продуктов размолота зерна отбираются из общего потока, освещаются проходящим светом и регистрируются цифровой камерой. Модуль анализа изображений производит обработку графической информации о форме и размерах частичек размолота зерна. Получаемая информация используется для дальнейшего прогнозирования качества продуктов переработки зерна.

Традиционный ситовой анализ осуществляет разделение материала на фракции только по линейному размеру частиц. Знания о различиях частиц размолота зерна по форме позволяют повысить эффективность анализа продуктов переработки зерна [8], [9].

Для получения информации о каждой обособленной частице необходимо не допускать их слипания. Для этого в системе мониторинга предусмотрен модуль разрыхления. В нем за счет одновременного воздействия электризации частиц статическим напряжением и вибрации достигается дезинтеграция частиц при проведении анализа. Электростатическое отталкивание заряжаемых частиц размолота обеспечивает их равномерное рассеивание по поверхности [10].

Модуль принятия решения основывается на заранее заложенном в ней алгоритме. Обратная связь с размольной станцией реализует «интерактивность» в управлении технологическим процессом помола зерна. Таким образом, на зерноперерабатывающих предприятиях можно организовать систему мониторинга качества помола и принятия управленческих решений (рисунок 1).

Описанные модули объединяются в базовый элемент системы. Такие элементы устанавливаются в контрольных точках производства. Вся информация от них может быть сведена вместе для наибольшей информативности о проходящих процессах помола.

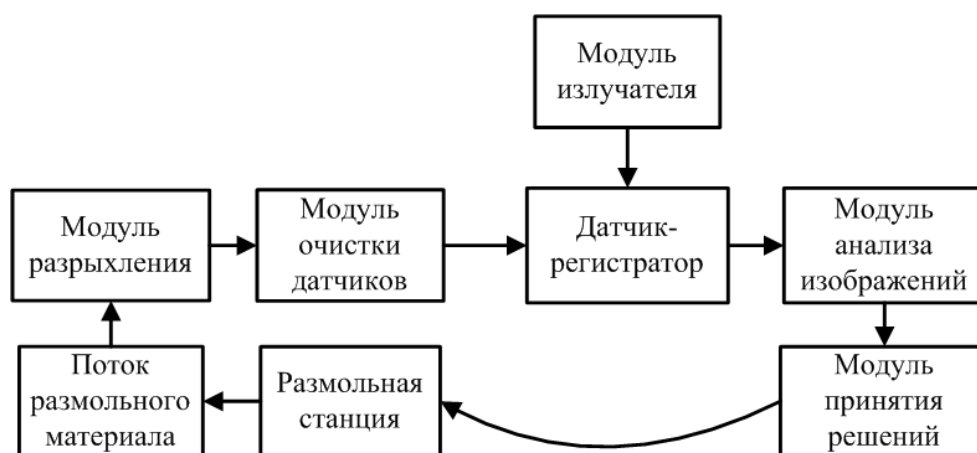


Рис. 1 – Базовый элемент системы мониторинга качества помола и принятия управленческих решений

Производимый таким образом анализ частиц размолота можно назвать фрактографическим анализом, поскольку, в отличие от гранулометрического анализа, ведется учет не только размеров, но и форм частиц. Термин «фрактография», включает методы описания строения поверхностей сколов, сломов вещества и т.д. В качестве множества таких поверхностей можно рассматривать и размолотое зерно пшеницы.

### Результаты и их обсуждение

В теории фрактографического анализа оперируют такими характеристиками частицы как: периметр, площадь и другие. Проекция частицы упрощенно представляется в виде окружности, эллипса, квадрата.

Разработанные программные средства подвергают компьютерной обработке изображения размолотого зерна. В проведенных исследованиях использовали техническое зрение для обнаружения частиц смолотого зерна, получения контрастных картинок с фигурами частиц размолотого зерна и последующих определения их геометрических характеристик.

Двухмерная проекция частицы представляет собой темное пятно на общей светлом фоне. В процессе анализа программно выделяли каждую такую проекцию, обрисовывая контуром. На выходе получаем массив геометрических параметров контуров частиц - фигур. Основываясь на измерениях, выделили самые ценные для прогнозирования качеств зерна геометрические показатели фигур. Из центров масс фигур программно выделяли необходимое число отрезков к периметру фигуры, вычисляли средние значения отрезков ( $X$ , в микрометрах) и значение коэффициента вариации этих отрезков ( $K$ ).

Выявлены взаимосвязи основных характеристик фрактографического анализа с физико-химическими свойствами зерна пшеницы. Так, для оценки содержания и качества клейковины в зерне пшеницы с помощью фрактографического анализа (лабораторный помол зерна) на основе многочисленных экспериментальных данных выведены следующие эмпирические зависимости.

Количество клейковины в % ( $R^2 = 0,84$ )

$$M_K = 0,24 \cdot K - 0,30 \cdot X + 41,86 \quad (1)$$

качество клейковины в единицах прибора ИДК-4 ( $R^2 = 0,72$ )

$$L_K = 1,14 \cdot K - 1,51 \cdot X + 139,06 \quad (2)$$

твердозерность, оцененная по микротвердости зерна в кг/мм<sup>2</sup> ( $R^2 = 0,89$ )

$$HD = 0,15 \cdot K + 0,28 \cdot X + 0,90 \quad (3)$$

Проводилось сравнение прогнозируемых значений с определенными общепринятыми методиками. Для количества и качества клейковины референтный метод приведен в ГОСТ 27839-2013, для твердозерности зерна референтный метод основывается на использовании микротвердомера.

Максимальная относительная погрешность предлагаемого фрактографического метода определения твердозерности составила не более 3 %, количества клейковины - не более 3,8 %, качества клейковины - не более 4,5%.

#### Заключение

Таким образом, разработанная система определяет физико-химические показатели качества продуктов размола за счет обработки изображений частиц размола зерна методиками компьютерного зрения. Определяемые фрактографическим анализом геометрические характеристики образцов помола зерна используются для прогнозирования свойств зерна.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Федотов В.А. Факторы формирования потребительских свойств зерномучных товаров / В. А. Федотов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 186-190.
2. Беркутова Н.С. Микроструктура пшеницы / Н. С. Беркутова, И. А. Швецова. - М.: Колос, 1977. - 122 с.
3. Медведев П.В. Комплексная оценка потребительских свойств зерна и продуктов его переработки / П. В. Медведев, В. А. Федотов, И. А. Бочкарева // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - № 7-1 (38). - С. 77-80.
4. Федотов В.А. Информационно-измерительная система определения потребительских свойств пшеницы / Федотов В.А., Медведев П.В. // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 140-145.
5. Chung O.K. Quality characteristics of hard winter and spring wheats grown under an overwintering condition / Chung O.K., Ohm J.B., Lookhart G.L. et al. // J. Cereal Sci., 2003, 37: 91-99.
6. Медведев П.В. Информационно-измерительные системы управления потребительскими свойствами зерномучных товаров / П. В. Медведев, В. А. Федотов // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд: монография. – Оренбург: ООО «Агентство «Пресса», 2013. – С. 35-51.
7. Rosicka-Kaczmarek J. Composition and thermodynamic properties of starches from facultative wheat varieties (2016) / Rosicka-Kaczmarek, J., Makowski, B., Nebesny, E. et al. // Food Hydrocolloids, 54, pp. 66-76
8. Souza E.J. Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality / Souza E.J., Martin J.M., Guttieri M.J. et al. // Crop Sci., 2004, 44: 425-432.
9. Smith A. E. Handbook of Weed Management Systems / A. E. Smith. - Marcel Dekker, 1995. - 741 p.
10. Shewry P.R. Wheat / Shewry P.R. J. Exp. Bot., 2009, 60: 1537-1553.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Fedotov V.A. Faktory formirovaniia potrebitelskikh svoystv zernomuchnykh tovarov [Factors of formation of consumer properties of grain products] / V. A. Fedotov // Vestneyk Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2011. – № 4. – P. 186-190. [in Russian]
2. Berkutova N.S. Mikrostruktura pshenitsy [Microstructure of wheat] / N. S. Berkutova, I. A. Shvetcova. – M.: Kolos, 1977. - 122 p. [in Russian]
3. Medvedev P.V. Kompleksnaya ocenka potrebitelskikh svoystv zerna i produktov ego pererabotki [Comprehensive assessment of consumer properties of grain and products of its processing] / P. V. Medvedev, V. A. Fedotov, I. A. Bochkareva // Mezhdunarodny`i nauchno-issledovatel`skii` zhurnal. - 2015. - № 7-1 (38). - P. 77-80. [in Russian]
4. Fedotov V.A. Informatcionno-izmeritelnaia sistema opredeleniia potrebitelskikh svoystv pshenitsy [Information-measuring system for determining the consumer properties of wheat] / Fedotov V.A., Medvedev P.V. // Vestneyk Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2013. – № 3. – P. 140-145. [in Russian]



5. Chung O.K. Quality characteristics of hard winter and spring wheats grown under an overwintering condition / Chung O.K., Ohm J.B., Lookhart G.L. et al // J. Cereal Sci., 2003, 37: 91-99.
6. Medvedev P.V. Informatcionno-izmeritelnye sistemy upravleniia potrebitelskimi svoistvami zernomuchnykh tovarov [Information-measuring systems for managing consumer properties of grain products] / P. V. Medvedev, V. A. Fedotov // Sovremennyye tendentsii v e`konomie i upravlenii: novyyi` vzgliad : monografiia. – Orenburg: ООО «Agentstvo «Pressa», 2013. – P. 35-51. [in Russian]
7. Rosicka-Kaczmarek J. Composition and thermodynamic properties of starches from facultative wheat varieties (2016) / Rosicka-Kaczmarek, J., Makowski, B., Nebesny, E. et al. // Food Hydrocolloids, 54, pp. 66-76
8. Souza E.J. Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality / Souza E.J., Martin J.M., Guttieri M.J. et al. // Crop Sci., 2004, 44: 425-432.
9. Smith A. E. Handbook of Weed Management Systems / A. E. Smith. - Marcel Dekker, 1995. - 741 p.
10. Shewry P.R. Wheat / Shewry P.R. J. Exp. Bot., 2009, 60: 1537-1553.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.009>**АНАЛИЗ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ИЗ-ПОД ВОДОБОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОМЕМБРАНЫ В ОСНОВАНИИ**

Научная статья

**Атабиев У.И.<sup>1,\*</sup>, Тезадова О.А.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1825-0097;<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия;<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (a\_omar[at]mail.ru)

**Аннотация**

В данной статье описана проблема нарушения фильтрационных режимов работы. Проведен фильтрационный расчет и анализ противифльтрационной геомембраны подземного контура гидротехнических сооружений. Для определения коэффициентов сопротивления области фильтрации противифльтрационной геомембраны в основании подземного контура, преобразовано конформное отображение области коэффициента сопротивления ( $\zeta$ ), на комплексный потенциал фильтрации. Рассчитан коэффициент сопротивления. при использовании аналитической связи, расчетных схем противифльтрационного экрана, в основании с проницаемым креплением, с любой другой областью простейшего очертания с известными. Произведя простые преобразования, принимая последовательно, что  $x \rightarrow (-\infty)$  и  $x \rightarrow (+\infty)$ , получим соответственно  $\Psi_r \rightarrow \infty$  и  $\Psi_r \rightarrow q_r$ , исходя из этого максимальный градиент напора, найдём приравняв первую производную к нулю. Полученная зависимость имеет такую же структуру, что и известная формула Р.Р. Чугаева для выходного уступа и шпунта, полученная им на основании гидромеханического решения С.Н. Нумерова. При практических соотношениях  $\frac{t}{T_1} \leq 0.3$ , коэффициент сопротивления на выходе из-под горизонтального экрана будет на 10% ниже, чем для уступа. Уменьшился напор в конце выработки подземного контура, до  $\delta h = 43\%$ , при этом - выходные градиенты снижаются на  $\delta(Y) = 30...50\%$ .

**Ключевые слова:** фильтрационный поток, шпунт, обтекание, завеса, геомембрана, горизонтальный экран, гидротехнические сооружения.

**ANALYSIS OF FILTER MODES FROM WATER JET WITH THE USE OF GEOMEMBRANE IN ITS BASIS**

Research article

**Atabiev U.I.<sup>1,\*</sup>, Tezadova O.A.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1825-0097;<sup>1</sup> Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;<sup>2</sup> Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

\* Corresponding author (a\_omar[at]mail.ru)

**Abstract**

This paper considers the problem of violation of filtration modes. The authors carried out filtration calculation and the analysis of the anti-filtration geomembrane of the underground water circuit of hydraulic structures. A conformal mapping of the region resistance coefficient ( $\zeta$ ) to the complex filtration potential was converted to determine the resistance coefficients of the filtration area of the antifiltration geomembrane at the base of the underground water circuit. The resistance coefficient was calculated for the case of analytical connection, design schemes of an anti-filter screen were used, in the base with permeable fastening, with any other area of the simplest outline with the known ones. Performing simple transformations, assuming successively that  $x \rightarrow (-\infty)$  and  $x \rightarrow (+\infty)$ , we obtain  $\Psi_r \rightarrow \infty$  and  $\Psi_r \rightarrow q_r$ , respectively, and proceeding from this the maximum pressure gradient, we find that the first derivative is equal to zero. The resulting dependence has the same structure as the well-known R.R. Chugaev's formula for the output ledge and channel, obtained by him based on the hydromechanical solution of S.N. Numerov. With practical ratios  $\frac{t}{T_1} \leq 0.3$  the resistance coefficient at the output from the horizontal screen will be 10% lower than for the ledge. The pressure at the end of the underground circuit development decreased to  $\delta h = 43\%$ , while the output gradients decrease by  $\delta(Y) = 30 \dots 50\%$ .

**Keywords:** filtration flow, channel, flow around, curtain, geomembrane, horizontal screen, hydraulic structures.

**Введение**

Применение синтетических полимерных материалов в гидротехническом строительстве и строительстве дренажных (противофильтрационных) элементов началось еще в первой половине двадцатого века. На начальном этапе использования данных материалов это были тонкие, толщиной 0,1-0,5 мм полиэтиленовые и поливинилхлоридные пленки. В ходе развития технологии производства, качества синтетики, началось изготовление и других материалов. На данный момент полимерные материалы обладают рядом существенных преимуществ перед другими материалами. Они воспринимают значительные растягивающие напряжения, сохраняют прочность даже при больших деформациях, однородны по своему качеству, долговечны, технологичны и эффективны для применения в гидротехническом строительстве. В настоящее время практически все эти листовые материалы и конструкции из них, предназначенные для устройства противофильтрационных элементов различных сооружений, называют «геомембраны».

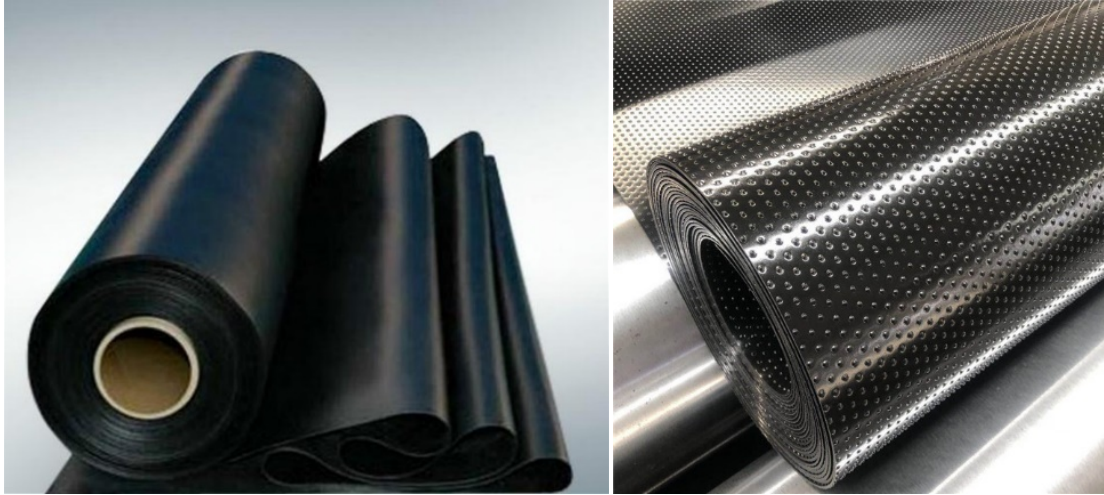


Рис. 1 – Виды геомембраны

Подземный контур такого водобоя формируется горизонтальным полимерным экраном, пригруженным слоем местного грунта, смыв которого предотвращается защитным креплением. Будем полагать, что в основании крепления дна нижнего бьефа располагается пластовый дренаж. Тогда область фильтрации при выходе потока будет иметь вид как на (рис 2а). Интеграл Кристоффеля-Шварца [1], отображающий область комплексного переменного  $z=x+iy$  на каноническую полуплоскость  $\zeta+i\eta$  (рис. 2б), имеет вид [2]

$$z = A_1 \int_0^\zeta \frac{\zeta d\zeta}{(\zeta-1)\sqrt{\zeta+\beta}} = \frac{T_2}{\pi} \left[ \ln(1-\zeta) + \beta \ln\left(1 + \frac{\zeta}{\beta}\right) \right] \quad (1)$$

Конформное отображение области  $\mathbb{E}$  на комплексный потенциал фильтрации (рис.2 в) осуществим следующим образом:  $w_r = \phi_r + i\Psi_r$

$$w_r = A_2 \int_0^\zeta \frac{d\zeta}{(\zeta-1)\sqrt{\zeta+\beta}} = 2q_r \frac{1}{\pi} \operatorname{arth} \sqrt{\frac{\zeta+\beta}{1+\beta}} \quad (2)$$

Функция обратная (2)

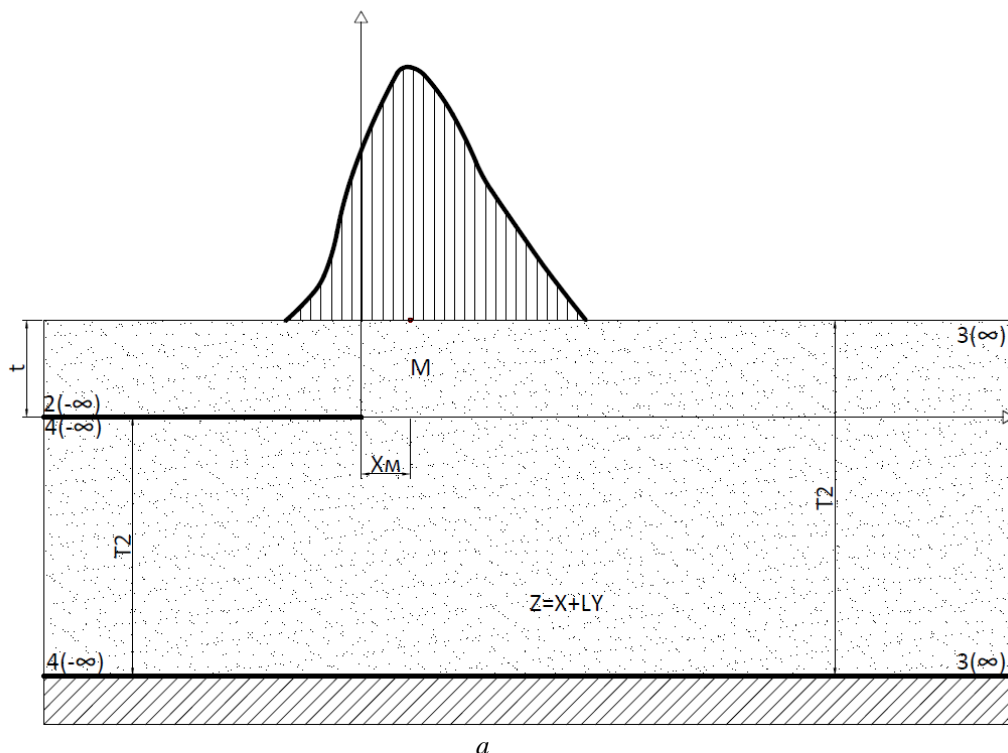
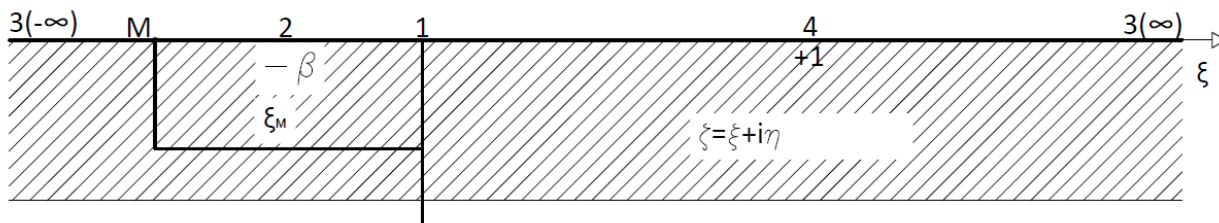
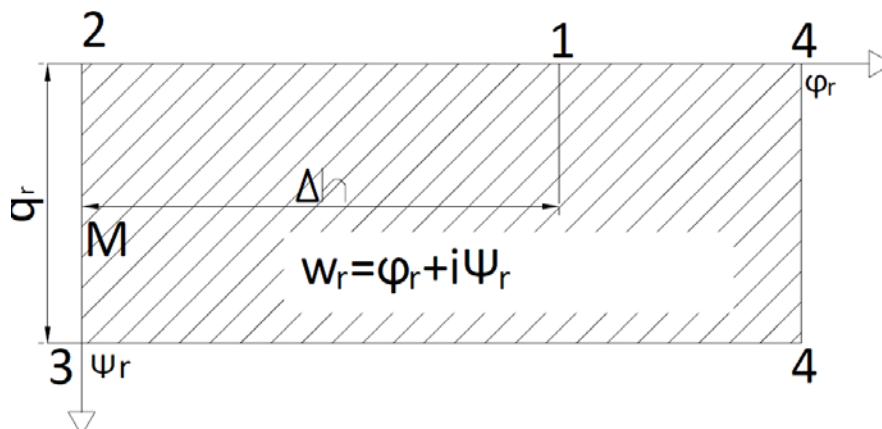


Рис. 2 – Схема к расчету противофильтрационного экрана в основании флютбета с проницаемым креплением.  
 а – Область фильтрации при выходе потока из подземного контура водобоя с полимерным экраном и пластовым дренажем



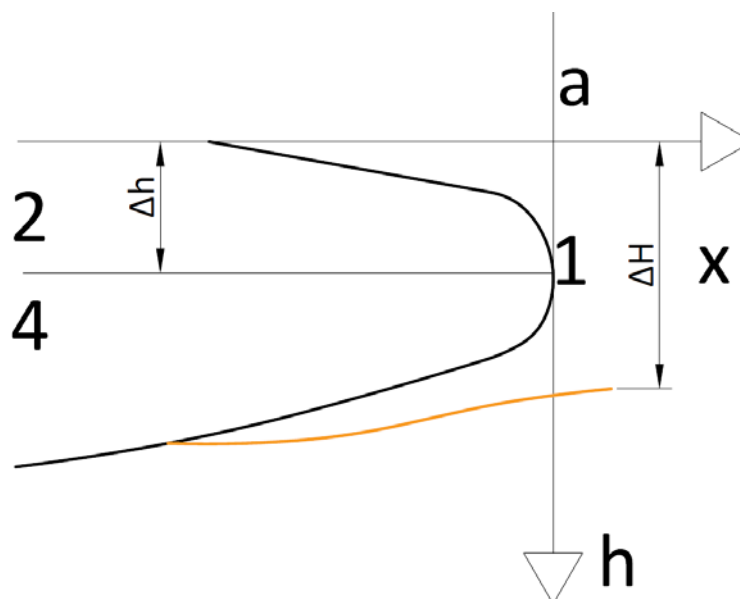
б

Рис. 2 – Схема к расчету противифльтрационного экрана в основании флютбета с проницаемым креплением.

б – Область комплексного переменного  $z = x + iy$  на каноническую полуплоскость  $\zeta + i\eta$ 

в

Рис. 2 – Схема к расчету противифльтрационного экрана в основании флютбета с проницаемым креплением.

в – Конформное отображение области  $\xi$  на комплексный потенциал фильтрации

г

Рис. 2 – Схема к расчету противифльтрационного экрана в основании флютбета с проницаемым креплением.

г – Параметр асимптоты  $\Delta h$ 

$$\zeta = (1 + \beta)th^2 \frac{\pi w_r}{2q_r} - \beta$$

$$\beta = \frac{t}{T_2}$$
(3)

$$z = \frac{T_2}{\pi} \left\{ \ln \left[ (1 + \beta) \left( 1 - th^2 \frac{\pi w_r}{2q_r} \right) \right] + \beta \ln \left( \frac{1 + \beta}{\beta} tg^2 \frac{\pi w_r}{2q_r} \right) \right\}$$
(4)

### Методы и принципы исследования

Составим из (4) уравнение напоров  $x = X(h)$  при  $z = x \leq 0$ ,  $w_r = h \leq \Delta h$  и, определив параметр ее асимптоты  $\Delta h$  (рис.1г) как в [2], [3], найдем из соотношения  $\zeta = \Delta H/q_r$  формулу для коэффициента сопротивления выходного фрагмента.

$$(\zeta_{\text{ЭК}})_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{\pi} \left( \ln \frac{4T_1}{T_2} + \frac{t}{T_2} \ln \frac{T_1}{t} \right) \quad (5)$$

Комплексный градиент фильтрации определится после того как (4) продифференцируем по  $w_r$

$$Y_x - iY_y = \frac{dw_r}{dz} = \left( \frac{dz}{dw_r} \right) \quad (6)$$

Затем принимаем  $Y_x = 0$ ,  $w_r = i\Psi_r$ , получим выходные градиенты по линии 2-3

$$Y_y = \frac{q_r}{T_1} \cdot \frac{\sin \frac{\pi i \Psi_r}{2q_r} \cos \frac{\pi i \Psi_r}{2q_r}}{1 - \frac{T_2}{T_1} \cos \frac{\pi i \Psi_r}{2q_r}} \quad (7)$$

$$q_r = \frac{\Delta h}{(\zeta_{\text{ЭК}})_{\text{ВЫХ}}}$$

Пьезометрический напор на конце экрана в точке 1 определится из (2) при  $w_r = \Delta h$ ;  $\zeta = \zeta_1 = 0$ .

$$(\zeta_{\text{ЭК}})_{\text{ВЫХ}} = \Delta h = \frac{2}{\pi} q_r \operatorname{arth} \sqrt{1 - \frac{T_2}{T_1}} \quad (8)$$

Функция тока  $\Psi_r$  может быть определена из (4) при  $z = x + it$ ,  $\omega_r = i\Psi_r$

$$\frac{x}{T_1} = \frac{1}{n} \left[ \frac{T_2}{T_1} \ln \frac{1 + tg^2(\pi \Psi_r / 2q_r)}{T_2/T_1} + \frac{t}{T_1} \ln \frac{tg^2(\pi \Psi_r / 2q_r)}{t/T_1} \right] \quad (9)$$

Принимая последовательно в (9)  $x \rightarrow (-\infty)$  и  $x \rightarrow (+\infty)$ , будем иметь  $\Psi_r \rightarrow \infty$ ,  $\Psi_r \rightarrow q_r$ . Тогда легко убедиться в точках нижнего бьефа 2 и 3 согласно (7) будем иметь  $Y_y = 0$ . Максимально выходной градиент найдем, если приравняем первую производную к (7) нулю.

$$\frac{\pi \Psi_r}{2q_r} = \frac{1}{4} \operatorname{acrsin} \sqrt{\frac{1 - T_2/T_1}{2 - T_2/T_1}} \quad (10)$$

Подставив (10) и (7), получим

$$(Y_{\text{ЭК}})_{\text{МАХ}} = \frac{h_{\text{ВЫХ}}}{T_1} \cdot \frac{1}{a(\zeta_{\text{ЭК}})_{\text{ВЫХ}}} \quad (11)$$

$$a = 2 \sqrt{\frac{t}{T_1}}$$

Получаем в результате, что зависимость (11) имеет такую же структуру, что и известная формула Р.Р. Чугаева [4] для выходного уступа и шпунта, полученная им на основании гидромеханического решения С.Н. Нумерова [3]. Точку **М** выхода  $(Y_{\text{ЭК}})_{\text{МАХ}}$  найдем из (8) с учетом (9)

$$x_{\text{М}} = \frac{T_2}{\pi} \ln \left( 2 \frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \quad (12)$$

По формулам (7), (9), заданных в параметрическом виде  $0 \leq \frac{\pi \Psi_r}{2q_r} \leq 1$ , построены графики выходных градиентов (рис. 3), имеющие куполообразное очертание.

Сопоставим фильтрационные характеристики (5), (8) и (11) исследованного выходного элемента с равновеликим по заглублению  $t$  в грунтовое основание уступом [3], [4]

$$(\zeta_{\text{УС}})_{\text{ВЫХ}} = \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{1}{1 - t/T_1} \ln \left( \frac{2}{t/T_1} - 1 \right) + \ln \left[ \frac{1}{(1 - t/T_1)^2} - 1 \right] \right\} \quad (13)$$

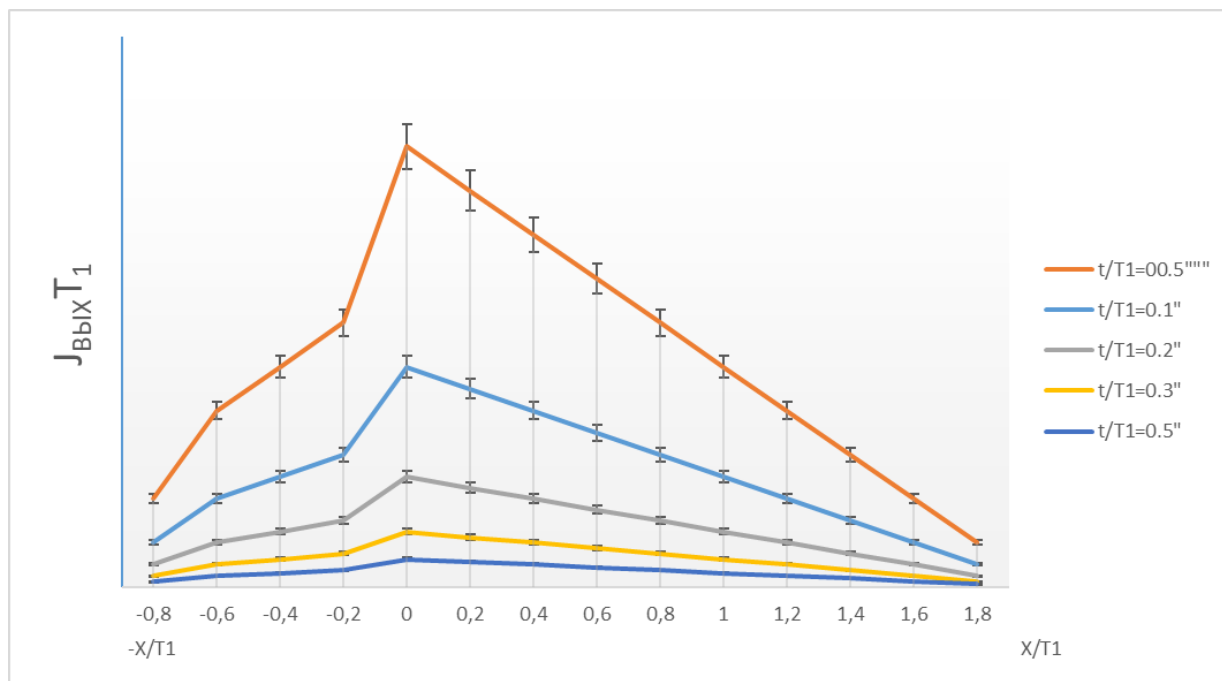


Рис. 3 – График приведенных выходных градиентов

$$h_{вых} = \Delta h = q_r \frac{2}{\pi} \operatorname{arth} \sqrt{\frac{t}{T_1}} \quad (14)$$

$$(Y_{yc})_{max} = \frac{h_{вых}}{T_1} \cdot \frac{1}{a(\zeta_{yc})_{вых}}$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{(2 - t/T_1) t/T_1}} \quad (15)$$

Сравнение показывает (рис. 3), что при практических соотношениях  $\frac{t}{T_1} \leq 0.3$  коэффициент сопротивления на выходе из-под горизонтального экрана будет на 10% и менее ниже  $\delta(\zeta) < 10\%$ , чем для уступа. Это обуславливает уменьшение напоров в конце подземного контура до  $\delta\Delta h = 45\%$ , но особенно важно то, что выходные градиенты снижаются на  $\delta(Y) = 40...55\%$ .

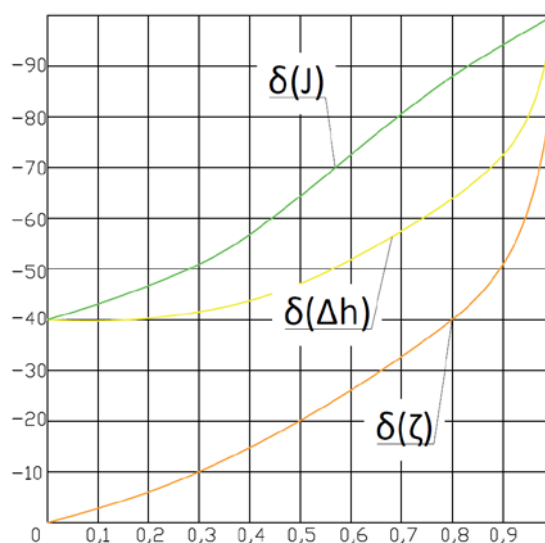


Рис. 4 – График сопоставления фильтрационных характеристик противофильтрационного экрана и уступа

### Заключение

1. Полученная зависимость имеет такую же структуру, что и формула Р.Р. Чугаева.

2. При практических соотношениях,  $\frac{t}{T_1} \leq 0.3$  коэффициент сопротивления на выходе из-под горизонтального экрана будет на 10% ниже, чем для уступа.

3. Уменьшение напора в конце подземного контура до  $\delta\Delta h = 45\%$ , но особенно важным является то, что выходные градиенты снижаются на  $\delta(Y)=40...55\%$ .

4. Тип, вид и состав геомембранной основы подбирается исходя из инженерно-геологических характеристик основания контура, изменение характеристик геомембранной основы не влечет за собой значительных изменений в расчетах.

5. Применение геомембраны в основании способствует снижению входных градиентов и уменьшению фильтрационного напора, снижению вероятности суффозии в основании.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного / Лаврентьев М.А., Шабат В.Б. – М.: Наука, 1973. 736 с.
2. Бурдинский В.Н. Определение коэффициента сопротивления входного элемента пленочного понура / Бурдинский В.Н. // Материалы научно-практической конференции Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии (Технические науки. Вып. 2). – Нальчик: КБГСА, 1996. – С.225-228.
3. Аравин В.Й. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / Аравин В.Й., Нумеров С.Н. – М.: Гостехиздат, 1953. – 616 с.
4. Чугаев Р.Р. Подземный контур гидротехнических сооружений / Чугаев Р.Р. – Л.: Энергия, 1974. – 237 с.
5. Веригин Н.Н. Фильтрация в основании плотин с наклонными завесами и шпунтами / Веригин Н.Н. // Гидротехническое строительство. – 1940. – №2. – 131 с.
6. Дегтярь Б.Г. Гидротехнический расчет плотины с наклонным шпунтом при  $T < \infty$  / Дегтярь Б.Г. / Республиканский межведомственный научно-технический сб., вып.18. // Мелиорация и водное хозяйство. – Киев: Урожай, 1970. 183 с.
7. Фильчаков П.Ф. Теория фильтрации под гидротехническими сооружениями. т.2 / Фильчаков П.Ф. – Киев: Изд. АНУССР, 1960. – 123 с.
8. Лаврентьев М.А. Методы теории функции комплексного переменного / Лаврентьев М.А., Шабат В.Б. – М.: Наука, 1973. – 736 с.
9. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Булычев Н.С. – М.: Недра, 1994
10. Гидротехнические сооружения / Под. ред. Г.М. Каганова. Т.2, М.: Энергоатомиздат, 1994. – 464 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Lavrentiev M.A. Metody teorii funktsij kompleksnogo peremennogo [Methods of the theory of functions of a complex variable] / Lavrentiev M.A., Shabat V.B. – Moscow: Nauka, 1973. 736 p. [in Russian]
2. Burdinsky V.N. Opredelenie koeffitsienta soprotivleniya vkhodnogo elementa plenochnogo ponura [Determination of the coefficient of resistance of the input element of the film circuit] / Burdinsky V. N. / Materials of the scientific and practical conference of the Kabardino-Balkar state agricultural Academy (Technical Sciences. Vol. 2). – Nalchik: CBGS, 1996. - P. 225-228. [in Russian]
3. Aravin V.Th. Teoriya dvizheniya zhidkostey i gazov v nedeformiruemoj poristoy srede [Theory of motion of liquids and gases in a non-deformable porous medium] / Aravin V. Th., Numerov S. N. – Moscow: Gostekhizdat, 1953. – 616 p. [in Russian]
4. Chugaev R.R. Podzemnyj kontur gidrotekhnicheskikh sooruzhenij [Underground contour of hydraulic structures] / Chugaev R.R. – L.: Energy, 1974. – 237 p.
5. Verigin N.N. Filtratsiya v osnovanii plotin s naklonnymi zavesami i shpuntami [Filtration at the base of dams with inclined curtains and dowels] / Verigin N. N. // Hydraulic engineering. - 1940.- No. 2. - 131 p. [in Russian]
6. Degtyar B.G. Gidrotekhnicheskij raschet plotiny s naklonnym shpuntom pri  $T < \infty$  [Hydrotechnical calculation of a dam with an inclined tongue at  $T < \infty$ ] / Degtyar B.G. / Republican interdepartmental scientific and technical Council, vol.18. // Land reclamation and water management. – Kiev: Vintage, 1970. 183 p. [in Russian]
7. Filchakov P.F. Teoriya filtratsii pod gidrotekhnicheskimi sooruzheniyami. t.2 [Theory of filtration under hydraulic structures. vol. 2] / Filchakov P.F. – Kiev: Ed. ANOSR, 1960. - 123 p. [in Russian]
8. Lavrentiev M.A. Metody teorii funktsii kompleksnogo peremennogo [Methods of the theory of the function of a complex variable] / Lavrentiev M. A., Shabat V. B. – M: Science, 1973. - 736 p. [in Russian]
9. Bulychiev N.S. Mekhanika podzemnykh sooruzhniy [Mechanics of underground structures] / Bulychiev N. S. – Moscow: Nedra, 1994[in Russian]
10. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya [Hydraulic structures] / Edited by G. M. Kaganov Vol. 2, – Moscow: Energoatomizdat, 1994. – 464 p. [in Russian]

**ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ КОСТОМУКШСКОГО РЕГИОНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА**

Научная статья

**Арестова И.Ю.<sup>1,\*</sup>, Опекунова М.Г.<sup>2</sup>, Елсукова Е.Ю.<sup>3</sup>, Кукушкин С.Ю.<sup>4</sup>**  
<sup>1, 2, 3, 4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* Корреспондирующий автор (iarestova[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье представлены результаты мониторинговых исследований почв на участках Костомукшского государственного природного биосферного заповедника, города Костомукша и Костомукшского горно-обогатительного комбината. Отмечено низкое валовое содержание всех изученных металлов в естественных природных комплексах. Выявлены особенности вертикального распределения концентраций тяжелых металлов по почвенным горизонтам. Установлено резкое увеличение концентраций большинства изученных элементов во всех почвенных горизонтах в городской зоне и на территории комбината. Для ряда металлов отмечается изменение в характере распределения по горизонтам в сравнении с фоновыми почвами.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, загрязнение почв, тяжелые металлы, заповедник, Карелия.

**CHANGES IN CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS OF KOSTOMUKSH REGION UNDER INFLUENCE OF TECHNOGENESIS**

Research article

**Arestova I.Yu.<sup>1,\*</sup>, Opekunova M.G.<sup>2</sup>, Yelsukova E.Yu.<sup>3</sup>, Kukushkin S.Yu.<sup>4</sup>**  
<sup>1, 2, 3, 4</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

\* Corresponding author (iarestova[at]mail.ru)

**Abstract**

The paper presents the results of monitoring studies of soils in the area of the Kostomuksha State Natural Biosphere Reserve, the city of Kostomuksha and the Kostomuksha mining and processing plant. The low gross content of all the studied metals in natural complexes was found. The authors revealed features of the vertical distribution of heavy metal concentrations over soil horizons. A sharp increase in the concentrations of most of the elements studied was found in all soil horizons in the urban zone and on the territory of the plant. For a number of metals, there is a change in the nature of the distribution over the horizons in comparison with background soils.

**Keywords:** environmental monitoring, soil pollution, heavy metals, nature reserve, Karelia.

**Введение**

Территории, расположенные в зоне влияния крупных месторождений, давно являются объектом изучения содержания тяжелых металлов (ТМ) в сопряженных компонентах окружающей среды. Чаще всего в роли таких компонентов вступают почвы и растения, так как они отражают как краткосрочные, так и долгосрочные изменения, происходящие в природно-территориальных комплексах (ПТК). При этом в подобных исследованиях наибольший интерес представляет сравнение биогеохимических показателей участков, испытывающих постоянное воздействие, и территорий с минимальным уровнем нарушений, характеристики которых принимаются за фоновые.

Костомукшский горно-обогатительный комбинат (КГОК), расположенный на северо-западе Карелии, является ведущим комбинатом по добыче и переработке железной руды в России. Горные работы ведутся с 1982 года на базе Костомукшского месторождения, которое включает железистые кварциты, кристаллические сланцы различного состава и геллефлинты. В марте 2007 года начата добыча и переработка железной руды Корпангского месторождения. В 2008 году компания получила лицензию на разведку и обработку запасов руд Южно-Корпангского участка недр. В 2017 году добыча горной массы на комбинате составила более 51 млн м<sup>3</sup>, добыча руды – 36714000 т. [1]

На Костомукшском месторождении выделены четыре разновидности руд: щелочноамфиболовые, биотитовые, гронеритовые и двуамфиболовые. Руды Корпангского месторождения имеют амфибол-магнетитовый состав. Содержание (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>+SiO<sub>2</sub>) в магнетитовых кварцитах составляет 87-92%. Оксиды Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O содержатся в количестве n (0,1-1)%. Незначительную примесь составляют P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (n 0,1%) и SrO (n 0,01%). Содержание S возрастает от богатых (0,03%) к бедным (0,9%) рудам и достигает 7% в силикатных кварцитах. Из всех элементов-примесей в рудах только содержания Mn (n 0,01%) и Ge (n 0,0001%) достигают кларковых значений. Руды содержат низкие концентрации экологически опасных элементов (в %): Zn, Ti – n 0,01; Cr, V, Pb, Ni, Y – n 0,001; Ga, Sc – n (0,001-0,0001); Co, Cu, Ge – n 0,0001; Ag – n (0,00001-0,000001). Содержание Au в рудах – n (1-0,001) г/т. [2] По имеющимся данным, на начало 2000-х годов аэротехногенные выбросы SO<sub>2</sub> предприятия составляли приблизительно 30 тыс. т/год, пыли 7-8 тыс. т/год. [3]

Жилые массивы города Костомукша расположены в десяти километрах к юго-западу от территории КГОКа. При строительстве жилых районов в городе были сохранены участки коренных лесных массивов, поэтому площадь зеленой зоны в городе более 30%. Площадь города составляет 15,5 км<sup>2</sup>, население города на начало 2018 года - 29,4 тыс. человек.

В 30 км к юго-западу от города находится Костомукшский государственный природный биосферный заповедник



общей площадью 49,2 тыс. га. Заповедник был создан в 1983 г, основной целью создания являлось сохранение северотаежных лесов европейской части России. До 40-х годов XX в. на данной территории располагались небольшие финские деревни и хутора, в настоящее время прямое антропогенное воздействие на охраняемые ПТК практически отсутствует. Кроме того, взаиморасположение заповедника, города и КГОКа таково, что все выбросы рассеиваются в противоположную от заповедника сторону. [4]

Исследования, связанные с воздействием выбросов комбината на различные компоненты окружающей среды, ведутся практически с начала его активной деятельности. С начала 1980-х годов в районе проводятся работы различными институтами Академии наук СССР (сейчас – РАН), научными коллективами С.-Петербургского Горного института, Петрозаводского университета и др. [5], [6], [7] Многолетние наблюдения состояния почв и растительности, включающие анализ биогеохимических характеристик, проводятся кафедрой геоэкологии и природопользования СПбГУ на участках, расположенных на территории Костомукшского государственного природного биосферного заповедника, в городе Костомукша и на территории Костомукшского ГОКа.

Основная часть проводящихся в районе исследований посвящена оценке содержания различных загрязняющих веществ в тех или иных компонентах окружающей среды в ПТК определенного уровня нарушенности – отдельно рассматриваются заповедные экосистемы, отдельно городские территории и территория ГОКа. Однако такая избирательность в выборе объектов исследования не позволяет оценить происходящие в среде изменения в аккумуляции загрязнений. Поэтому для выявления особенностей накопления ТМ почвами Костомукшского региона нами рассматривались ПТК всех уровней нарушенности.

### Материалы и методы

Работы проводились в июне 2018 г. на площадках, относящихся к ПТК с разным уровнем нарушенности. В качестве фоновых были выбраны площадки на территории Костомукшского заповедника, расположенные недалеко от станции интегрированного мониторинга. В городе площадки выбирались в зеленых зонах и дворовых территориях, представляющих собой фрагменты исходных природных комплексов. На территории ГОКа площадки устанавливались в фрагментарных лесных сообществах вблизи источников техногенного воздействия. Всего было установлено 14 площадок в заповеднике, 14 площадок в городе и 6 площадок на территории ГОКа.

Пробоотбор почв осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83. Размер пробных площадок составлял 20х25 м. На каждой площадке методом конверта отбирались пробы почв из горизонтов О (0-10 см) и BF (15-25 см). Названия горизонтов почв даны по Классификации почв России 2004 г. [9] На антропогенно нарушенных участках при отсутствии четко выраженного почвенного профиля пробы отбирались с глубины 0-5 см и 5-15 см. Для анализа вертикальной и латеральной миграции ТМ в почвах на нескольких площадках были заложены почвенные разрезы, пробы из которых отбирались по каждому горизонту. Всего было отобрано 66 проб почв из поверхностных горизонтов и 34 пробы почв из почвенных разрезов.

Определение подвижных форм ТМ в почвах проводилось с использованием почвенной вытяжки аммонийно-ацетатным буфером (рН=4,8) на атомно-абсорбционном спектрометре NOVAA-315. Анализ валового содержания тяжелых металлов в почвах проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе «ELAN-6100 DRC» с полным кислотным разложением проб по ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. При обработке результатов измерений использовалась компьютерная программа обработки данных «TOTALQUANT», что обеспечивало пределы обнаружения элементов на уровне 0,0002-0,01 г/г. Анализ выполнялся в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского.

Для характеристики естественных особенностей содержания ТМ в почвах района рассчитывались коэффициент концентрации каждого элемента в изученных почвенных горизонтах ( $K_k = C_x : K_{\text{кларк}}$ ) и коэффициент аккумуляции ( $K_a = C_x : \text{ПДК (ОДК)}_x$ ), где  $C_x$  – концентрация элемента,  $K_{\text{кларк}}$  – кларк элемента в почве, ПДК – предельно допустимая концентрация элемента в почве, ОДК – ориентировочно допустимая концентрация элемента в почве.

### Результаты и обсуждения

Определение валового содержания ТМ в почвах на территории заповедника (табл.1) показало, что в большинстве исследованных проб из поверхностных горизонтов концентрация  $Co$  ниже чувствительности метода.

Таблица 1 – Валовое содержание тяжелых металлов в почвах Костомукшского заповедника, мг/кг [10]

	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Fe	Ba
Гор. О	263	91	6,56	10,81	7,45	4201	173
Гор. BF	211	54	5,53	38,36	15,63	20326	347
ПДК, (ОДК)	1500	(55)	(33)	–	(20)	–	–
Фон	282	–	–	47,30	–	17505	200

Изучение фоновых почвенных разрезов на подзолах иллювиально-железистых выявило накопление  $Co$  в нижних горизонтах BF и BC. Cd в изученных образцах практически нигде не обнаружен. Исключение составляет единственная проба из поверхностного горизонта, где его содержание составляет 2,58 мг/кг и превышает установленную ОДК (0,5 мг/кг). Это может быть связано с тем, что Cd является очень подвижным элементом и способен переходить в больших количествах из твердой фазы в жидкую. Анализ вертикального распределения концентраций остальных изученных ТМ показал, что Cu распределяется по всему почвенному профилю равномерно, Mn, Pb и Zn в большинстве изученных почв тяготеют к верхним горизонтам, а Fe, Ba, Ni и Cr активно накапливаются в иллювиальных горизонтах.

Вместе с тем необходимо отметить естественный низкий региональный уровень содержания большинства изученных металлов в почвах по сравнению с кларками, что подтверждается рассчитанными коэффициентами концентрации ТМ для почвенных разрезов. Исключение составляют только Zn и Ba, концентрации которых в отдельных пробах из горизонта BF достигают кларка (табл. 2).

Таблица 2 – Значения  $K_k$  тяжелых металлов в почвах заповедника

	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Fe	Ba
Гор. О	0,2-0,4	0,6-0,8	0,2-0,4	0,01-0,03	0,1	0,05	0,3
Гор. BF	0,4-0,5	0,5-1	0,2-0,4	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,6	0,9-1

Большинство изученных почв содержит ТМ в концентрациях ниже предельно допустимых. Это справедливо для всех изученных горизонтов в ненарушенных почвах. Исключения отмечены только для Zn и Ni, концентрации которых в отдельных пробах близки или даже незначительно превышают нормативы.

Анализ валового содержания ТМ в почвах городской зоны и территории комбината показал резкое увеличение концентраций большинства изученных элементов как в поверхностных горизонтах, так и в иллювиальных (табл. 3). В частности, на всех площадках и в черте города, и в зоне ГОКа активно накапливается Со. Единственный металл, концентрации которого в почвах заповедника выше, это Zn. Несмотря на это, его концентрация превышает ОДК во всех исследованных почвах.

Для ряда металлов отмечается изменение в характере распределения по горизонтам в сравнении с фоновыми почвами. Так Cu в городских почвах активно накапливается в поверхностных горизонтах, а в почвах ГОКа верхние горизонты обогащены Fe и Ni. Эти изменения связаны, скорее всего с прямым поступлением металлов с пылевыми выбросами от комбината и городского транспорта. Одновременно стоит отметить, что в большинстве почв комбината Pb активно накапливается именно в иллювиальном горизонте.

Таблица 3 – Валовое содержание тяжелых металлов в почвах г.Костомукша и КГОКа, мг/кг

	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Fe	Ba	Co	Cd	Pb
Почвы г.Костомукша										
Гор. О	400	88	13,7	25,9	15,3	9240	279	3,99	0,3	26,3
Гор. BF	371	31,6	6,3	76,6	20,6	17045	461	9,83	0,05	13,3
Почвы КГОКа										
Гор. О	800	73,7	14,6	50,9	39,4	55679	250	12	0,16	8,71
Гор. BF	444	59,1	14,4	58,5	28	36855	396	9,77	0,07	12,5
ПДК, (ОДК)	1500	(55)	(33)	-	(20)	-	-	-	(0,5)	(32)

Анализ пространственного распределения загрязнений ТМ по территории города и ГОКа выявил несколько наиболее загрязненных участков, где содержания большинства изученных элементов резко возрастают. На территории ГОКа такой является площадка вблизи железнодорожной ветки, среди исследованных городских площадок наибольшее загрязнение поверхностных горизонтов почв отмечено во дворах жилых домов в центре и в юго-восточной части города.

Кроме того, в почвах этих площадок отмечены изменения в распределении ТМ по горизонтам в сравнении с фоновыми территориями. Так на площадках, расположенных в городе, такие металлы как Cr, Co, Ni, Zn, Cd, Pb сосредоточены в верхних горизонтах почв, что можно объяснить поступлением металлов из атмосферы от мобильных и стационарных источников. На территории ГОКа изменение накопления ТМ имеет более сложный характер, часть элементов закрепляется в верхних горизонтах (V, Cr, Cu, Fe), а другие, наоборот, активно накапливаются в нижних (Zn, Cd, Pb, Mn). Это связано с загрязнением поверхностных горизонтов в результате постоянного поступления металлов из атмосферы с газопылевыми выбросами от карьера, комбината и железнодорожного транспорта, а также с нарушением почвенного профиля при разработке и обустройстве территории.

Для анализа вертикальной и латеральной миграции ТМ в зоне антропогенного воздействия были проанализированы пробы из почвенных разрезов, расположенных в 5 км к юго-западу от территории КГОКа (табл. 4).

Таблица 4 – Валовое содержание ТМ в почвенных разрезах возле КГОКа, мг/кг

Горизонт	Cu	Zn	Ni	Sc	Cd	Cr	Pb	Co	Mn	Fe	V	Ba
Почвенный разрез 34-1. Вершина моренного холма.												
О	10,3	43,2	35,7	2,42	0,35	34	14,5	4,71	310	37100	59,2	147
Н	17,9	33,5	5,34	5,01	0,02	23,6	8,25	2,26	178	3885	30	480
BF	13,2	66,3	22,4	11,4	0,06	68,5	11,7	17,2	496	20405	99,5	486
BC	8,6	49,1	38,9	14,2	0,06	115	8,9	16,4	550	14945	94,5	451
Почвенный разрез 34-2. Нижняя часть склона моренного холма С-СЗ экспозиции												
О	7,8	57,9	22,1	1,18	0,22	17,2	14	2,3	604	23100	36,8	119
Н	<1	19,1	3,9	6,12	0,04	18,1	18	1,5	201	3255	32,4	652
BF	11,2	34,5	30,3	11,7	0,04	88,8	8,9	13,3	473	14350	81,4	496
Почвенный разрез 34-2. Подножье моренного холма												
О	47,0	147	15,9	4	0,21	25,1	24,3	6,8	155	9940	32,3	242
Н	2,3	19	14,5	8	0,02	50,5	10,4	5,9	294	6475	54,1	530
BF	5,8	27,5	27,6	11,6	0,03	91	7,6	11,9	434	12810	77,2	406
ОДК (ПДК)												
	33	55	20	-	0,5	-	(32)	-	(1500)	-	150	-

Выявлено отличие в распределении ряда элементов по горизонтам от фоновых территорий. В частности, в поверхностных горизонтах данных разрезов идет накопление Fe, Pb, Ni и Cd, во всех горизонтах увеличивается содержание Co, в иллювиальных горизонтах идет активное накопление Mn. Накопление Zn в почвах имеет неустойчивый характер и зависит от положения в рельефе. Для остальных металлов характерно быстрое вымывание из поверхностных горизонтов, миграция и накопление именно в нижележащих иллювиальных горизонтах.

Исследования содержания подвижных форм ТМ в фоновых почвах на территории Костомукшского заповедника позволили выделить две группы металлов (табл. 5).

Таблица 5 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах, мг/кг [11]

	Co	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni	Fe
Гор. О	0,29	185	16,61	2,78	0,12	2,98	0,07	0,75	11
Гор. BF	0,37	15	2,86	2,88	0,04	0,72	0,51	0,26	212
ПДК	5	60	23	3	0,5	6	6	4	–

Первая группа, объединяющая Mn, Zn, Cd, Pb и Ni, характеризуется преимущественным накоплением в поверхностных горизонтах почв и резким снижением концентраций в иллювиальных горизонтах. Вторая группа включает Fe, Co и Cr, чьи концентрации, наоборот, возрастают в иллювиальных горизонтах. Стоит отметить, что несмотря на различия в аккумуляции содержание подвижных форм большинства ТМ в почвах заповедника существенно ниже ПДК. Исключение составляет только Mn, концентрации которого в поверхностных горизонтах превышают ПДК в 3 раза. Степень подвижности ТМ зависит от формы рельефа, а также от почвенного горизонта. В поверхностных горизонтах исследованных почв подвижность элементов выше, чем в иллювиальных. Это может быть обусловлено влиянием атмосферных осадков, а также возможным аэротехногенным переносом.

### Заключение

Проведенные исследования подтвердили низкий природный региональный уровень валового содержания большинства изученных металлов в ненарушенных почвах по сравнению с кларками. Концентрации этих ТМ ниже предельно допустимых во всех почвенных горизонтах в фоновых природных комплексах. Исключения отмечены только для Zn и Ni, концентрации которых в отдельных пробах близки или даже незначительно превышают нормативы. На территориях, подверженных антропогенному воздействию происходит не только резкое увеличение концентраций большинства изученных ТМ, но и изменения в их аккумуляции различными горизонтами почв.

По распределению подвижных форм тяжелых металлов в почвенном профиле выделены две группы элементов. Металлы первой группы накапливаются в поверхностных горизонтах почв, тогда как металлы, относящиеся ко второй группе, тяготеют к более глубоким горизонтам.

### Финансирование

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ 18-05-00217 «Биогеохимические индикаторы техногенной трансформации потоков тяжелых металлов в ландшафтах».

### Конфликт интересов

Не указан

### Funding

The studies were supported by the RFBR grant 18-05-00217 “Biogeochemical indicators of technogenic transformation of heavy metal flows in landscapes”.

### Conflict of Interest

None declared

### Список литературы / References

1. Официальная статистическая информация ПАО «Северсталь» [Электронный ресурс] – URL.: <http://karelskyokatysh.severstal.com/rus/customers/products/index.phtml> (дата обращения: 23.11.2019).
2. Галахина Н.Е. Оценка воздействия предприятий горнодобывающей железорудной промышленности на водную среду с учетом природно-техногенных факторов формирования вод : дисс. ... канд. хим. наук : 03.02.08 : защищена 18.04.18 : утв. 10.08.18 / Галахина Наталия Евгеньевна. – Петрозаводск: Ин-т водных проблем Севера КНЦ РАН, 2016. – 160 с.
3. Пантелеева Я.Г. Геохимические изменения окружающей среды в зоне влияния горнопромышленного комплекса ОАО "Карельский окатыш" : дисс. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.09 : защищена 16.10.2009 : утв. 23.04.2010 / Пантелеева Яна Геннадьевна. – СПб: СПбГорный Университет, 2009. – 242 с.
4. Арестова И.Ю. Мониторинговые исследования фоновых территорий Костомукшского заповедника / Арестова И.Ю., Опекунова М.Г., Елсукова Е.Ю., Кукушкин С.Ю. // «Роль научно-исследовательской работы в управлении и развитии ООПТ» - Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию со дня образования Байкальского государственного природного биосферного заповедника (пос. Танхой, 14–15 октября 2019 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2019 г. – с. 28-32.
5. Германова Н.И. Динамика биологической активности лесных почв в зоне действия Костомукшского ГОКа / Германова Н.И., Медведева М.В. // Биоэкологические аспекты мониторинга. Петрозаводск: КНЦ РАН, Институт леса, 2001. – с. 192-201.
6. Федорев Н.Г. Воздействие эмиссий Костомукшского горно-обогатительного комбината на лесные подстилки сосняков в северотаежной подзоне Карелии / Федорев Н.Г., Солодовников А.Н. // Труды Карельского научного центра РАН, № 6. 2013. – с. 143–152.
7. Виноградова А.А. Антропогенная нагрузка на экосистемы Костомукшского природного заповедника: Атмосферный канал. / Виноградова А.А., Иванова Ю.А. // М., Изд-во Физматлит, 2013. – 84 с.
8. Новиков С.Г. Содержание тяжелых металлов в почвах города Костомукши / Новиков С.Г. // Современные проблемы науки и образования (электронный научный журнал), 2016, № 5.

9. Шишов Л.Л. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

10. Елсукова Е.Ю. Биогеохимический мониторинг особо охраняемых природных территорий на примере Государственного природного заповедника "Костомукшский" / Елсукова Е.Ю., Опекунова М.Г., Арестова И.Ю., Кукушкин С.Ю., Карандашева Н.И., Решетняк В.А. // Актуальные вопросы биogeографии: Материалы международной конференции (Санкт-Петербург, Россия, 9-12 октября 2018г.). – Санкт-Петербургский государственный университет. СПб, 2018.- с. 130-132.

11. Elsukova E. Ecological monitoring of special protected areas by the example of Kostomuksha Nature Reserve / Elsukova E., Opekunova M., Arestova I., Kukushkin S. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Water Resources. Forest Marine and Ocean Ecosystems. – 2017. P. 805-812.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Oficial'naya statisticheskaya informatsiya PAO «Severstal» [Official statistical information of PAO Severstal] [Electronic resource] / –URL.: <http://karelskyokatysh.severstal.com/rus/customers/products/index.phtml> (accessed: 23.11.2019) [in Russian]

2. Galakhina N.E. Ocenka vozdejstviya predpriyatij gornodobyvayushchej zhelezorudnoj promyshlennosti na vodnuyu sredu s uchetom prirodno-tekhnogennykh faktorov formirovaniya [Assessment of the impact of mining enterprises in the iron ore industry on the aquatic environment, taking into account natural and technogenic factors of water formation] : PhD Thesis in Chemistry: 03.02.08 : defended 18.04.18 : approved 10.08.18 / Galakhina Natalia. – Petrozavodsk, Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre RAS, 2016. - 160 p. [in Russian]

3. Panteleeva Ya.G. Geohimicheskie izmeneniya okruzhayushchej sredy v zone vliyaniya gornopromyshlennogo kompleksa OAO "Karel'skij okatysh" [Geochemical changes in the environment in the zone of influence of the mining complex of OJSC Karelsky Okatysh] : PhD Thesis in in Geology and Mineralogy : 25.00.09 : defended 16.10.2009 : approved 23.04.2010 / Panteleeva Yana. - St. Petersburg, Saint-Petersburg Mining University, 2009. – 242 p. [in Russian]

4. Arestova I.Yu. Monitoringovyie issledovaniya fonovykh territorij Kostomukshskogo zapovednika [Monitoring research of the background territories of Kostomukshsky reserve] / Arestova I.Yu., Opekunova M.G., Elsukova E.Yu., Kukushkin S.Yu. // "The role of scientific research in the management and development of protected areas" - Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th anniversary of the Baikal State Nature Biosphere Reserve (Tankhoi village, October 14–15, 2019). / Irkutsk: Publishing House of the Institute of Geography. V.B. Sochava SB RAS, 2019 - p. 28-32. [in Russian]

5. Germanova N.I. Dinamika biologicheskoy aktivnosti lesnykh pochv v zone dejstviya Kostomukshskogo GOKa [The dynamics of the biological activity of forest soils in the zone of operation of the Kostomuksha GOK] / Germanova N.I., Medvedeva M.V. / Bioecological aspects of monitoring. Petrozavodsk: KSC RAS, Forest Institute, 2001. - P. 192-201. [in Russian]

6. Fedorets N.G. Vozdejstvie emissij Kostomukshskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata na lesnye podstilki sosnyakov v severotaezhnoj podzone Karelii [The impact of emissions of the Kostomuksha mining and processing plant on forest litter of pine forests in the northern taiga subzone of Karelia] / Fedorets N.G., Solodovnikov A.N. / Transactions of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, No. 6. 2013. - P. 143–152. [in Russian]

7. Vinogradova A.A. Antropogennaya nagruzka na ekosistemy Kostomukshskogo prirodnogo zapovednika: Atmosfernyj kanal [Anthropogenic load on ecosystems of Kostomuksha natural reserve: Atmospheric canal] / Vinogradova A.A., Ivanova Yu.A. /M., Fizmatlit Publishing House, 2013. - 84 p. [in Russian]

8. Novikov S.G. Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvakh goroda Kostomukshi [The content of heavy metals in soils of the city of Kostomuksha] / Novikov S.G. // Modern problems of science and education (electronic scientific journal), 2016, No. 5. [in Russian]

9. Shishov L.L. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of Russian soils] / L. Shishov, V. Tonkonogov, I. Lebedeva, M. Gerasimova. – Smolensk, 2004. – 342 p. [in Russian]

10. Elsukova E.Yu. Biogeohimicheskij monitoring osobo ohranyaemykh prirodnykh territorij na primere Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Kostomukshskij" [Biogeochemical monitoring of specially protected natural areas on the example of the Kostomuksha State Nature Reserve] / Elsukova E.Yu., Opekunova MG, Arestova I.Yu., Kukushkin S.Yu., Karandasheva N.I., Reshetnyak V.A. // Actual issues of biogeography: Materials of an international conference (St. Petersburg, Russia, October 9-12, 2018). - St. Petersburg State University. SPb, 2018.- p. 130-132. [in Russian]

11. Elsukova E. Ecological monitoring of special protected areas by the example of Kostomuksha Nature Reserve / Elsukova E., Opekunova M., Arestova I., Kukushkin S. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Water Resources. Forest Marine and Ocean Ecosystems. – 2017. P. 805-812.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.011>

## ОПЫТ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В СФЕРЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Научная статья

Панин Д.Н.<sup>1</sup>, Карягина М.В.<sup>2,\*</sup>, Малахова Д.С.<sup>3</sup>, Салмина Я.А.<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

\* Корреспондирующий автор (karyagina\_m00[at]mail.ru)

### Аннотация

В статье рассматривается международный опыт по методам и технологиям радиолокационного дистанционного зондирования Земли. Отмечается, что современные радиолокационные дистанционные системы – наиболее эффективные информационные комплексы по исследованию земной поверхности. Одним из важных направлений международного сотрудничества в сфере радиолокационного зондирования Земли является выработка общих критериев валидности результатов исследования. Актуальность исследований обусловлена необходимостью расширения космических технологий, разработки новых методов обработки информации, выработки рекомендаций по предпочтительным параметрам радиолокационного зондирования.

В работе показаны примеры успешного сотрудничества национальных космических систем и обосновывается вывод, что разработка методов и технологий радиолокационного дистанционного зондирования земли останутся приоритетными в течение ближайших лет. Подчеркивается, что первостепенная задача сотрудничества на международном уровне – разработка и реализация подходов и стратегий валидности конечных результатов и обеспечения качества данных наблюдения Земли, комплекса мероприятий, направленных на подтверждение соответствия и обеспечение данных ДЗЗ необходимыми сертификационными документами по основным параметрам их качества.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование земли, информационные технологии, радиолокация, валидность.

## INTERNATIONAL EXPERIENCE ON METHODS AND TECHNOLOGIES OF RADAR REMOTE SENSING OF EARTH

Research article

Panin D.N.<sup>1</sup>, Karyagina M.V.<sup>2,\*</sup>, Malahova D.S.<sup>3</sup>, Salmina Ya.A.<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

\* Corresponding author (karyagina\_m00[at]mail.ru)

### Abstract

The article discusses international experience concerning the methods and technologies of radar remote sensing of the Earth. Modern radar remote systems are the most effective information systems for the study of the earth's surface. The development of general criteria for the validity of research results is one of the key areas of international cooperation in the field of radar sensing of the Earth. The relevance of research is based on the necessity to expand space technology, develop new methods for processing information and recommendations on the preferred parameters of radar sensing.

The paper shows examples of successful cooperation of national space systems and claims that the development of methods and technologies for radar remote sensing of the earth will remain a priority over the coming years. It is emphasized that primary tasks of cooperation at the international level include the development and implementation of approaches and strategies for the validity of final results and ensuring the quality of the Earth observation data, as well as designing a set of measures aimed at confirming compliance and providing remote sensing data with necessary certification documents on the main parameters of their quality.

**Keywords:** remote sensing of the earth, information technology, radio detection, validity.

### Введение

Исследование земной поверхности – одна из самых ранних сфер приложения человеческого разума. В настоящей работе рассматривается возможность и необходимость международного сотрудничества по проблемам стандартизации, радиометрической калибровки радиолокационных измерений. Одно из важных направлений – выработка общих критериев валидности результатов исследования. Проблемам международного сотрудничества и согласованности государственных космических систем ведущих стран (в особенности России, США, стран Европы) в использовании технологий ДЗЗ уделялось и уделяется внимание многими российскими и зарубежными специалистами. О преимуществах и перспективности радиолокационных технологий в ДЗЗ указывают В.Ю. Александров, Д.М. Ермаков, Д.Н.Панин, А.П.Чернушич, Е.А. Шарков; сравнительный анализ технологий ДЗЗ зарубежных стран проводят А. Бабуринов, А. Лисицын. Тем не менее, многие отмечают, что в развитии технологий ДЗЗ преобладающей тенденцией является конкуренция, а не сотрудничество. Это связано, прежде всего, со стремлением государства создать свою национальную полноценную систему космического исследования Земли, что позволит обеспечить и военную безопасность государства, и научную независимость.

В настоящей работе предпринимается попытка показать примеры положительного международного опыта по использованию технологий ДЗЗ, продемонстрировать значимость практического применения в решении общехозяйственных задач, обозначить проблемы, связанные с валидностью. Последнее особенно важно, поскольку любой пользователь любой страны должен иметь высокую степень уверенности в том, что конкретный процесс,

технология, метод или система ДЗЗ будет последовательно приводить к результатам, отвечающим заранее установленным критериям приемлемости; в противном случае результаты ДЗЗ не могут быть использованы.

### **Опыт международного сотрудничества в сфере ДЗЗ: проблемы и перспективы**

Сегодня все специалисты в области космических разработок признают, что наиболее эффективные информационные комплексы для изучения земной поверхности – это радиолокационные системы дистанционного базирования (в особенности – космические) [2]. Во всем мире вопросам создания и эксплуатации спутниковых радаров с синтезированной апертурой (РСА) для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) уделяется большое внимание, особенно военными экспертами [3], [4]. Сравнение и сопоставление результатов данных с информацией, полученной из других источников, удобство обработки полученной информации прикладными программами, наглядность получаемой информации [5].

К сожалению, приходится констатировать, что в настоящее время на международном уровне не разработана четкая и однозначная система оценки результатов ДЗЗ. Совсем недавно, 7–8 ноября 2019 года в Ярославле проходил IV форум по внедрению результатов космической деятельности, являющийся главной тематической площадкой по интеграции в регионах России технологий, основанных на использовании космических данных (организатор – Холдинг «Российские космические системы» – РКС, входит в Госкорпорацию «РОСКОСМОС»). Участники форума смогли подробно ознакомиться с инновационными решениями. В частности, была представлена находящаяся в заключительной стадии разработки уникальная система ДЗЗ – инфракрасный радиометр высокого разрешения (РИВР) для многоцелевого лабораторного модуля «Наука» российского сегмента Международной космической станции (МКС). Нет сомнений, что данная система важна для России. Однако проблема сопоставимости параметров результатов, получаемых с помощью радиометра, с международными стандартами осталась под вопросом, проблема валидности на международном уровне не решена. На наш взгляд, это можно объяснить стремлением разработчиков, в первую очередь, решать задачи внутригосударственные (национальные), и только потом – выходить на международного потребителя информационных услуг. Именно поэтому новейшие технологии ДЗЗ будут использоваться преимущественно в интересах государства, и выборочно – предоставляться в широкий доступ на международном уровне.

Тем не менее, несмотря на конкуренцию интересов, международное сотрудничество в области ДЗЗ успешно развивается и приносит положительные результаты. Так, в рамках международного сотрудничества в настоящее время успешно функционирует Рабочая группа по калибровке и валидности, в которую вошли ведущие национальные космические агентства государств, в частности: NASA (Национальное управление США по аэронавтике и исследованию космического пространства), ESA (Европейское космическое агентство), BNSC (Британский национальный космический центр), CNES (Национальный центр космических исследований Франции), JAXA (Японское агентство аэрокосмических исследований), Роскосмос (Федеральное космическое агентство) и др.

Для решения проблемы валидности данных приходится преодолевать две главные трудности: во-первых, это разработка аппаратуры и алгоритмов первичной обработки информации; во-вторых, проблемы интерпретации и удобства восприятия радиолокационной информации [9].

К первому случаю относят создание космических радиолокаторов в Р и VHF диапазонах частот. Так, практически все государства широко используют исходную информацию, предоставляемую в процессе зондирования атмосферы радиометром SEVIRI европейских геостационарных метеорологических спутников второго поколения Meteosat 8 – Meteosat 11, работающих на геостационарной орбите около 36000 км над экватором (Европа и Африка) [10]. Показательным примером может служить использование изображений, полученных с помощью американских спутников Landsat-7 и Landsat-8 (2011–2016 гг.) в практических целях государства Иран [12]. При помощи специальных программ изображения вся картографируемая территория была разделена по балльной шкале, что позволило составить план экономических инвестиций в этом районе, а также территориальное планирование природопользования и оптимизации эксплуатации природных ресурсов.

В 2017 г. компания Planet (США) предложила принципиально новый подход к получению пространственных данных – непрерывное выполнение съемки всей территории Земли большим числом спутников, т. е. ежедневный мониторинг. Такой поход обеспечивается наличием группировки более чем из 200 космических аппаратов. Высочайшая оперативность и повторяемость съемки спутниками Planet позволяет создавать актуальные ортомозаики высокого разрешения на большие по площади регионы [13].

В России есть положительные примеры использования отечественных данных ДЗЗ со спутников сверхвысокого разрешения «Ресурс-П». Продукты, создаваемые на основе этих данных, по качеству и оперативности получения приближаются к лучшим иностранным аналогам [14]. Увеличение объема данных и их детальности ставит на одно из первых мест проблему их обработки, хранения, извлечения и валидности. Так, например, мозаика на всю территорию России с разрешением 50 см будет занимать более 600 Тб – и это уже готовый продукт, объем же исходных данных для создания такой мозаики превысит 2,5 Петабайт данных. Для обработки и хранения данных необходимо развертывание специализированных систем хранения данных [15].

Одним из перспективных современных информационных ресурсов общего доступа является также геопортал - веб-портал, отображающий и предоставляющий доступ к географической информации посредством веб-сервисов. Например, Геопортал Роскосмоса – геоинформационный ресурс для доступа к единому банку данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) Земли из космоса. Он представляет собой информационный ресурс, успешно сочетающий в себе как комплекс средств для просмотра космических снимков земной поверхности, так и набор инструментов для поиска данных ДЗЗ со спутников, запущенных российскими учеными.

## Заключение

Итак, можно сделать вывод, что разработка методов и технологий радиолокационного дистанционного зондирования земли останутся приоритетными в течение ближайших лет.

Критерий валидности результатов ДЗЗ – одно из приоритетных направлений международного сотрудничества. Выработать общую стратегию здесь очень трудно, поскольку не все участники согласны предоставлять исчерпывающую информацию о технологиях ДЗЗ. Если, к примеру, Европа уже сегодня имеет все необходимые технические возможности для того, чтобы в мировом масштабе предлагать клиентам ключи к информации с разведывательных космических аппаратов, то США предоставляют только возможность доступа, но не дают ключей к информации, необходимых для контроля над ней. Разумеется, и Россия, защищая свои геополитические интересы и вынужденная принимать непосредственное участие в локальных конфликтах вблизи своих государственных границ, также ограничивает доступ к отдельным видам информации высокого разрешения.

Как нам представляется, международное сотрудничество в области ДЗЗ в мирных целях в будущем актуально, важно и необходимо. Российским разработчикам важно войти в мировой рынок ДЗЗ, обеспечить участие российских станций в международных сетях прямого приема данных ведущих мировых программ ДЗЗ. Это позволит принимать «сырую» телеметрию, полностью обрабатывать ее в России, сокращая сроки поставок и уменьшая стоимость конечных продуктов.

## Конфликт интересов

Не указан.

## Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Концепция развития российской системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года.
2. Александров В.Ю. Спутниковый радиолокационный мониторинг морского ледяного покрова. 2010 год / Александров В.Ю.
3. Панин Д.Н. Взаимодействие электромагнитного излучения с неоднородным слоем магнетодиэлектрика [Текст] / Панин, Д. Н. // Инфокоммуникационные технологии. - 2010. - Т. 8, № 1: – С. 38-41.
4. Панин Д.Н. Селективные свойства неоднородного слоя полупроводниковой плазмы [Текст] / Д. Н. Панин, Л. В. Адамович // Инфокоммуникационные технологии. - 2015. - Т. 13, № 1. – С. 12-17.
5. Бабуринов А. Состояние и перспективы развития средств космической видовой радиолокационной разведки западноевропейских стран / Бабуринов А., Пахомова А. // Зарубежное военное обозрение. - 2017. – № 9. – С. 64-68.
6. Википедия. – URL: [http:// ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org).
7. Дубина В.А. Обнаружение судов на спутниковых изображениях / Дубина В.А., Плотников В.В., Круглик И.А. и др. // Материалы 2-й Нац. научно-технич. конф. «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации». - Владивосток. – 2018. – С. 12–16. – URL: <http://conf.dalrybvtuz.ru/files/articles/159.pdf> (дата обращения: 05.11.2019)
8. Дубина В.А. Особенности трансграничного переноса поверхностных вод в северозападной части Японского моря по многолетним спутниковым наблюдениям / Дубина В.А., Катин И.О. // Вестник ДВО РАН. – 2018. – № 6. – С. 13–19.
9. Ермаков Д.М. Геопортал спутникового радиотепловидения: данные, сервисы, перспективы развития / Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. – № 3. - С. 46–57.
10. Ермаков Д.М. Текущие возможности геопортала спутникового радиотепловидения и некоторые итоги проекта «ИКАР» / Ермаков Д.М., Чернушич А.П. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 7. – С. 321–324.
11. Ермаков Д.М. Развитие сетевых сервисов геопортала спутникового радиотепловидения: проект ИКАР / Ермаков Д.М., Чернушич А.П. // Электронные библиотеки. - 2017. – Т. 20. – № 1. – С. 50–76.
12. Зареи С.А. Опыт оценочного геоинформационного картографирования состояния ландшафтных ресурсов по материалам спутникового зондирования на примере провинции Ирана Хузестан / Зареи С.А., В.А. Малинников, В.М. Щербаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 7. – С. 119–127. – URL: <https://moluch.ru/archive/115/30818/> (дата обращения: 05.11.2019).
13. Лисицын А. Космические системы дистанционного зондирования земли зарубежных стран / Лисицын А. // Зарубежное военное обозрение. – 2019. – №7. – С. 63-67.
14. Нерушев А.Ф. Характеристики высотных струйных течений Северного и Южного полушарий по данным спутниковых измерений / Нерушев А.Ф., Ивангородский Р.В. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 7. – С. 299–307.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Konceptsiya razvitiya rossijskoj sistemy distancionnogo zondirovaniya Zemli na period do 2025 goda [The concept of development of the Russian system of remote sensing of the Earth for the period up to 2025] [in Russian]
2. Alexandrov V.Yu. Sputnikovyy radiolokacionnyj monitoring morskogo ledyanogo pokrova. 2010 god [Satellite radar monitoring of sea ice cover. 2010 year] / Alexandrov V.Yu. [in Russian]
3. Panin D.N. Vzaimodejstvie elektromagnitnogo izlucheniya s neodnorodnym sloem magnitodielektrika [Interaction of electromagnetic radiation with an inhomogeneous magnetodielectric layer] [Text] / Panin, D. N. // Infocommunication technologies. – 2010. – Vol. 8, No. 1: – P. 38-41. [in Russian]
4. Panin D. N. Selektivnye svojstva neodnorodnogo sloya poluprovodnikovoj plazmy [Selective properties of an inhomogeneous layer of a semiconductor plasma] [Text] / D. N. Panin, L. V. Adamovich // Infocommunication technologies. – 2015. – Vol. 13, No. 1. – P. 12-17. [in Russian]

5. Baburin A. Sostoyanie i perspektivy razvitiya sredstv kosmicheskoy vidovoy radiolokacionnoj razvedki zapadnoevropejskih stran [State and prospects of development of space-based species-specific radar reconnaissance means of Western European countries] / Baburin A., Pakhomova A. // Foreign Military Review. – 2017. – No. 9. – P. 64-68. [in Russian]
6. Wikipedia. – URL: <http://ru.wikipedia.org>.
7. Dubin V.A. Obnaruzhenie sudov na sputnikovyh izobrazheniyah [Detection of ships on satellite images] / Dubin V.A., Plotnikov V.V., Kruglik I. A. et al // Materials of the 2nd National. scientific and technical. conf. "Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation." – Vladivostok. – 2018. – P. 12-16. URL: <http://conf.dalrybtuz.ru/files/articles/159.pdf> (accessed: 11/05/2019). [in Russian]
8. Dubina V.A. Osobennosti transgranichnogo perenosa poverhnostnyh vod v severozapadnoj chasti YAponskogo morya po mnogoletnim sputnikovym nablyudeniyam [Features of transboundary transport of surface water in the northwestern part of the Sea of Japan according to long-term satellite observations] / Dubina V.A., Katin I.O. // Vestnik FEB RAS. – 2018. – No. 6. – P. 13–19. [in Russian]
9. Ermakov D.M. Geoportal sputnikovogo radioteplovideniya: dannye, servisy, perspektivy razvitiya [Geoportal of satellite radio thermal imaging: data, services, development prospects] / Ermakov D.M., Chernushich A.P., Sharkov E.A // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. – 2016. – Vol. 13. – No. 3. – P. 46–57. [in Russian]
10. Ermakov D.M. Tekushchie vozmozhnosti geoportala sputnikovogo radioteplovideniya i nekotorye itogi proekta «IKAR» [Current capabilities of the geoportal of satellite radio thermal vision and some results of the IKAR project] / Ermakov D.M., Chernushich A.P. // Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space. – 2017. – Vol. 14. – No. 7. – P. 321–324. [in Russian]
11. Ermakov D.M. Razvitie setevykh servisov geoportala sputnikovogo radioteplovideniya: proekt IKAR [Development of network services for the geoportal of satellite radio thermal vision: IKAR project] / Ermakov D.M., Chernushich A.P. // Electronic Libraries. – 2017. – Vol. 20. – No. 1. – P. 50–76. [in Russian]
12. Dawn S.A. Opyt ocenochnogo geoinformacionnogo kartografirovaniya sostoyaniya landshaftnyh resursov po materialam sputnikovogo zondirovaniya na primere provincii Irana Huzestan [The experience of evaluating geoinformation mapping of the state of landscape resources based on satellite-sensing data on the example of the Khuzestan province of Iran] / Dawn S.A., V.A. Malinnikov, V.M. Shcherbakov // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. – 2017. – Vol. 14. – No. 7. – P. 119–127. <https://moluch.ru/archive/115/30818/> (accessed: 11/05/2019) [in Russian]
13. Lisitsyn A. Kosmicheskie sistemy distancionnogo zondirovaniya zemli zarubezhnyh stran [Space systems for remote sensing of the land of foreign countries] / Lisitsyn A. // Foreign Military Review. – 2019. – No. 7. – P. 63-67. [in Russian]
14. Nerushev A.F. Harakteristiki vysotnyh strujnyh techenij Severnogo i YUzhnogo polusharij po dannym sputnikovyh izmerenij [Characteristics of high-altitude jet streams of the Northern and Southern hemispheres according to satellite measurements] / Nerushev A.F., Ivangorodsky R.V. // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. – 2017. – Vol. 14. – No. 7. – P. 299-307. [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.012>**СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ОТКОСОВ ПЛОТИНЫ И ДАМБЫ БАХЧИСАРАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В КРЫМУ**

Научная статья

**Волосухин Я.В.**

Инженерный консалтинговый центр «Безопасность гидротехнических сооружений», Новочеркасск, Россия

\* Корреспондирующий автор (kipkeeva62[at]mail.ru)

**Аннотация**

Крым относится к сейсмоопасной зоне, здесь неоднократно наблюдалась сейсмическая активность, сопровождающаяся сильнейшими разрушениями. Многие из гидротехнических сооружений мелиоративного назначения требуют реконструкции или ремонта. Бахчисарайское водохранилище – одно из старейших на полуострове и функционирует уже более 90 лет, поэтому задача исследования состояния водоема является актуальной. В статье показан автоматизированный численный расчет устойчивости откосов плотины и дамбы Бахчисарайского водохранилища по программе «Расчет устойчивости земляных откосов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения» с учетом кривой депрессии в теле сооружений для основного и особого случая нагрузок, а также с учетом сейсмичности района расположения ГТС. Даны рекомендации по укреплению откосов плотины и дамбы.

**Ключевые слова:** плотина, земляные откосы, дамба, водохранилище, сейсмоустойчивость, безопасность.

**SEISMIC STABILITY OF SLOPES OF DAM AND LEVEE IN BAKHCHISARAI RESERVOIR IN CRIMEA**

Research article

**Volosukhin Ya.V.**

Engineering consulting center "Safety of hydraulic structures", Novocherkassk, Russia

\* Corresponding author (kipkeeva62[at]mail.ru)

**Abstract**

Crimea belongs to an earthquake zone, seismic activity has been repeatedly observed here, accompanied by severe damage. Many of the hydrotechnical facilities constructed for reclamation purposes on the peninsula require reconstruction or repair. The Bakhchisarai reservoir is one of the oldest on the peninsula and has been functioning for more than 90 years, thus the problem of studying the condition of the reservoir is a relevant one. The paper presents the automated numerical calculation of the stability of slopes of the dam and levee of the Bakhchisarai reservoir according to the application *Calculation of Stability of Earth Slopes on Circular Cylindrical Sliding Surfaces*, which takes into account the depression curve in the body of structures for the main and special case of loads, as well as the seismicity of the GTS location area. The recommendations on strengthening the slopes of the dam and levee are given as well.

**Keywords:** dam, earthen slopes, levee, reservoir, seismic stability, safety.

**Введение**

Крым относится к сейсмоопасной зоне, здесь неоднократно наблюдались интенсивные землетрясения, сопровождавшиеся катастрофическими разрушениями. С IV в. до н. э. до настоящего времени произошло 77 сильных землетрясений. В XX веке самыми масштабными по площади проявления, причиненному материальному ущербу, людским потерям были землетрясения 1927 года. Их было два: первое – 26 июня, второе – в ночь с 11 на 12 сентября. В июне в результате земных толчков мощностью около 9 баллов разрушению подверглось 70 % всех строений. Сумма ущерба составила 1 миллион рублей (по ценам 1927 года) [1]. Бывали годы, когда приборы фиксировали до 250 местных землетрясений в год. В другие периоды их число не превышало 50. Сейчас "нормой" считается 70-80 толчков разной силы в год. Один раз в год толчки превышают 4 балла. Землетрясения, подобные тому, что произошло в 1927 году, случаются раз в 400-500 лет.

В настоящее время за сейсмической ситуацией в Крыму непрерывно следят семь стационарных станций, расположенных вдоль побережья от Керчи до Севастополя и в центре полуострова. Полученные на станциях данные составляют основу совершенствования методики прогноза сейсмической опасности для подверженных ей территорий. Надежно предсказывать землетрясения ученые все еще не могут. Например, в 1975 году в Китае был сделан удачный сейсмический прогноз, позволивший избежать многих негативных последствий, но через год, в том же регионе неожиданно для сейсмологов произошло сильное землетрясение в 10 баллов, при котором погибло около 250 тысяч человек [2], [3].

Ввиду длительного срока работы многие из ГТС мелиоративного назначения на Крымском полуострове требуют реконструкции или ремонта, в том числе с учетом требований сейсмостойкости. К их числу относится Бахчисарайское водохранилище, расположенное в 5 км от г. Бахчисарая к юго-западу от горы Эгиз-Оба (158 м). Оно функционирует уже более 90 лет, поэтому задача исследования состояния водоема является актуальной [4].

Цель данной работы - расчет сейсмостойкости откосов плотины и дамбы Бахчисарайского водохранилища.

**Результаты исследований**

Бахчисарайское водохранилище расположено в среднем течении р. Кача. Среднегодовой сток реки (гидропост у с. Баштановка) – 40,1 млн. м<sup>3</sup>; максимальный расход – 3,14 м<sup>3</sup>/с.

Район створа плотины сложен песчаниками и конгломератами среднеюрской битакской свиты. В верхней части бассейна развиты отложения триаса и юры, представленные известняками, конгломератами, песчаниками и глинистыми сланцами.

Водохранилище расположено в зоне с интенсивностью сотрясений до 9 баллов (рис.1).

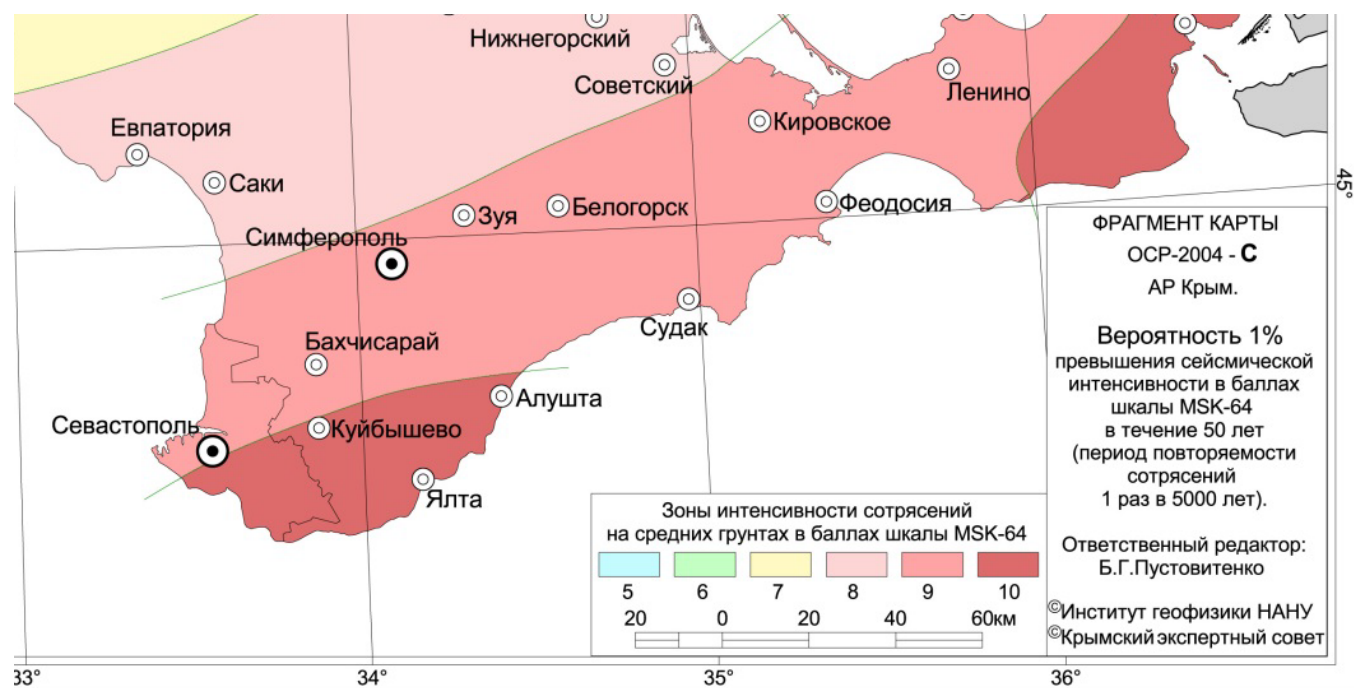


Рис. 1 – Вероятность превышения сейсмической интенсивности в баллах

Плотиной Бахчисарайского водохранилища служит земляная насыпь длиной более километра, с шириной гребня 7 м и высотой почти 21 м. Строительство велось в 1927 - 1931 гг., однако дополнительные строительные работы продолжались до 1935 г.

Изначально водохранилище использовали для орошения и водоснабжения, но в настоящее время в связи с загрязнением воды в р. Кача вторая функция отпала [4] (табл. 1).

Таблица 1 – Технические характеристики водохранилища

Длина, км	Ширина, макс.сред., м	Глубина, макс.сред., м	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>			Объем, млн. м <sup>3</sup>		Площадь мелководий при НПУ (h<2м), км <sup>2</sup>	Отметки уровней воды, м. абс.		
			НПУ	ФПУ	УМО	Полный	Полезный		НПУ	ФПУ	УМО
1,40	1,10 0,71	16,5 6,95	1,07	0,99	0,25	6,89	6,35	0,069	150,6	151,55	140,0

В нижнем бьефе ГТС, подверженном возможному затоплению, находятся следующие населенные пункты (название и площадь затопления): п. Новенькое - 0,11 км<sup>2</sup>, с. Краснозорье - 0,07 км<sup>2</sup>, с. Некрасовка - 0,14 км<sup>2</sup>, с. Тенистое - 0,11 км<sup>2</sup>, с. Айвовое - 0,14 км<sup>2</sup>, с. Вишневое - 0,24 км<sup>2</sup>, с. Полюшко - 0,12 км<sup>2</sup>.

В соответствии со «Сводом правил», п. 9.11 [5] устойчивость откосов грунтовых сооружений должна быть проверена по возможным поверхностям сдвига с нахождением наиболее опасной призмы обрушения, характеризующейся минимальным отношением обобщенных предельных реактивных сил сопротивления к активным сдвигающим силам.

Критерием устойчивости откосов плотины является соблюдение (для наиболее опасной призмы обрушения) неравенства:

$$\gamma_{lc}F \leq (\gamma_c/\gamma_n)R,$$

где  $F$  – расчетное значение обобщенного силового воздействия, определяемого с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f$  (в зависимости от метода расчета устойчивости откосов  $F$  – равнодействующая сил или моментов этих сил относительно оси поверхности сдвига);

$R$  – расчетное значение обобщенной несущей способности системы сооружение-основание, определяемое с учетом коэффициента безопасности по грунту  $\gamma_g$ , т.е. обобщенное расчетное значение сил предельного сопротивления сдвигу по рассматриваемой поверхности;

$\gamma_c, \gamma_n, \gamma_{lc}$  – коэффициенты соответственно условий работы, ответственности сооружения, сочетания нагрузок.

При поиске опасной поверхности сдвига может быть использована зависимость для коэффициента устойчивости  $K_S$ .

$$K_S = R/F \geq (\gamma_n\gamma_{lc})/\gamma_c.$$

Числовые значения коэффициентов  $\gamma_n$  и  $\gamma_{lc}$  приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2 – Числовые значения коэффициента  $\gamma_n$ 

Класс сооружения	I	II	III	IV
Значение $\gamma_n$	1,25	1,20	1,15	1,10

Таблица 3 – Числовые значения коэффициента  $\gamma_{lc}$ 

Сочетание нагрузок	Основное	Особое	Строительного периода
Значение $\gamma_{lc}$	1,00	0,90	0,95

Величина коэффициента  $\gamma_c$  принимается в зависимости от используемого способа расчета: 0,95 – при инженерным методе расчета; 1,00 – с учетом напряженно-деформированного состояния.

Для сооружений IV класса при особом сочетании нагрузок  $K_s \geq 1,0$  независимо от величины  $\gamma_c$ . Таким образом, критериальное значение коэффициента устойчивости для сооружений I класса при основном сочетании нагрузок составляет  $K_{sI} = 1,32$ , при особом сочетании нагрузок  $K_{s2} = 1,18$ .

Нами был выполнен автоматизированный численный расчет устойчивости откосов плотины и дамбы Бахчисарайского водохранилища по программе «Расчет устойчивости земляных откосов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения» с учетом кривой депрессии в теле сооружений для основного и особого случая нагрузок, а также с учетом сейсмичности района расположения ГТС. Эта программа разработана для расчета земляных откосов произвольной конфигурации.

Коэффициент запаса устойчивости откоса определяется по следующим трем методам расчета: метод Г. Крея (иначе – метод А.В. Бишопа); метод К. Терцаги; метод «Весового давления» (метод Р.Р. Чугаева).

Программа позволяет:

- определить область центров и радиусы, рекомендуемые по методу В.В. Аристовского;
- задать необходимое для расчета количество центров поверхностей скольжения и радиусов;
- определить наиболее опасную поверхность в автоматизированном режиме расчета;
- выполнить расчет откоса с учетом действия сейсмических сил.

Исходными материалами для расчетов являлись:

- принятые поперечные профили плотины и дамбы [6], [7];
- физико-механические свойства грунтов, слагающих тело и основание плотины и дамбы [8], [9], [10];
- действующие нагрузки для основного (при НПУ) и особого (при ФПУ) случаев нагрузки;
- положение кривой депрессии в теле сооружений, полученное по результатам фильтрационных расчетов [6];
- сейсмичность района расположения ГТС;

- нормативное значение коэффициента запаса устойчивости при основном случае нагрузок  $K_{sI} = 1,32$ , при особом случае –  $K_{s2} = 1,18$ .

Всего выполнено 24 расчета по определению коэффициентов запаса устойчивости откосов плотины и дамбы (табл. 3) и составлено столько же расчетных схем. В статье приведены две из них (рис. 2, 3).

Таблица 4 – Сводная таблица полученных коэффициентов запаса устойчивости откосов плотины и дамбы Бахчисарайского водохранилища с учетом расчетной сейсмичности

Метод расчета	Значение коэффициента запаса устойчивости $K_s$ . min
Плотина Бахчисарайского водохранилища	
Верховой откос (основной случай нагрузки)	
Г. Крея	1,549
К. Терцаги	1,453
Весового давления	1,549
Верховой откос (особый случай нагрузки)	
Г. Крея	1,542
К. Терцаги	1,447
Весового давления	1,543
Низовой откос (основной случай нагрузки)	
Г. Крея	1,646
К. Терцаги	1,529
Весового давления	1,627
Низовой откос (особый случай нагрузки)	
Г. Крея	1,637
К. Терцаги	1,522
Весового давления	1,619

Окончание таблицы 4 – Сводная таблица полученных коэффициентов запаса устойчивости откосов плотины и дамбы Бахчисарайского водохранилища с учетом расчетной сейсмичности

Метод расчета	Значение коэффициента запаса устойчивости $K_s$ . min
Дамба Бахчисарайского водохранилища	
Верховой откос (основной случай нагрузки)	
Г. Крея	1,816
К. Терцаги	1,813
Весового давления	1,856
Верховой откос (особый случай нагрузки)	
Г. Крея	1,598
К. Терцаги	1,670
Весового давления	1,673
Низовой откос (основной случай нагрузки)	
Г. Крея	2,279
К. Терцаги	2,156
Весового давления	2,262
Низовой откос (особый случай нагрузки)	
Г. Крея	2,278
К. Терцаги	2,155
Весового давления	2,261

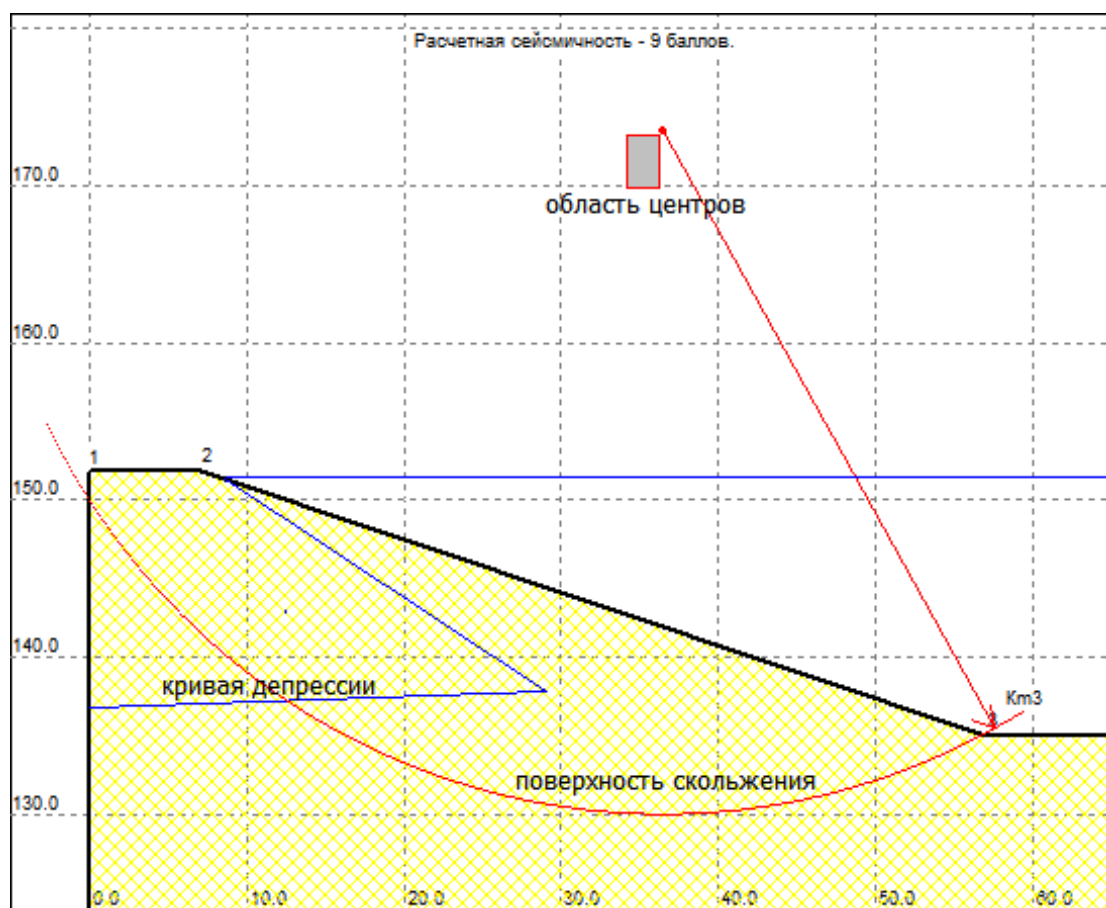


Рис. 2 – Расчетная схема к определению коэффициента запаса устойчивости верхового откоса плотины Бахчисарайского водохранилища для особого случая нагрузок

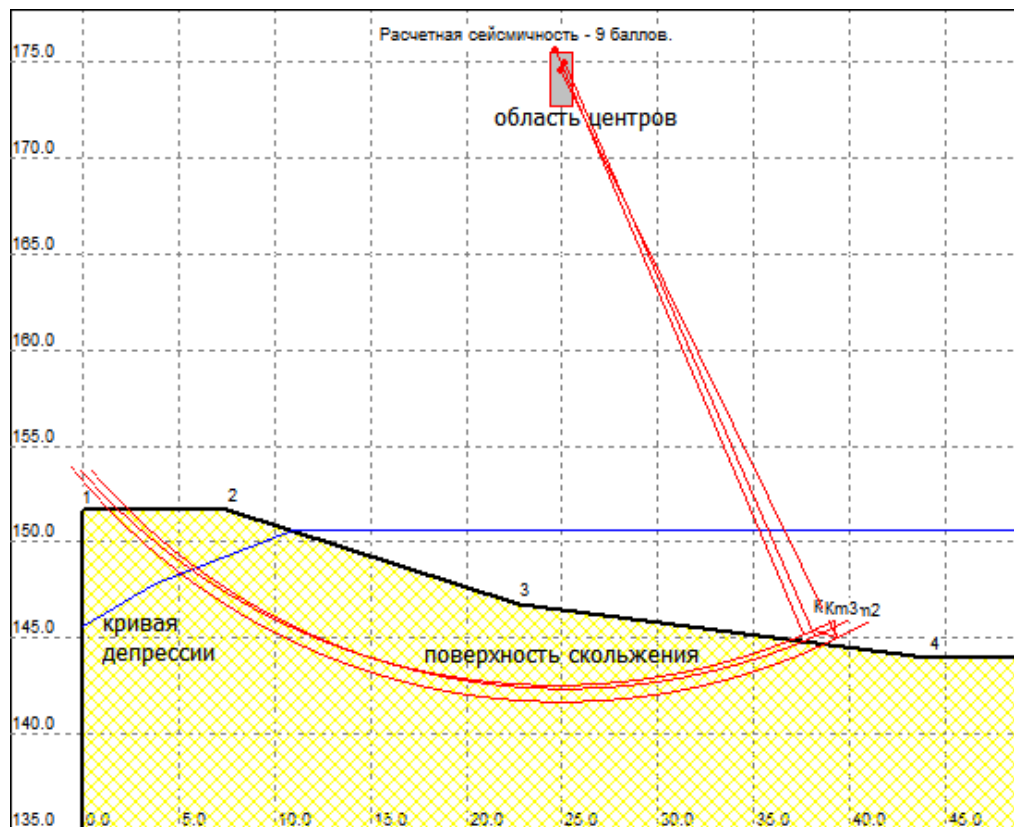


Рис. 3 – Расчетная схема к определению коэффициента запаса устойчивости верхового откоса дамбы Бахчисарайского водохранилища для основного случая нагрузок

### Заключение

На основе многофакторного обследования гидротехнических сооружений Бахчисарайского водохранилища выполнен автоматизированный численный расчет устойчивости откосов плотины и дамбы. Расчеты показали, что ГТС как при нормальном подпорном уровне (НПУ), так и при форсированном подпорном уровне (ФПУ) способны выдерживать землетрясения до 9 баллов включительно.

### Конфликт интересов

Не указан

### Conflict of Interest

None declared

### Список литературы / References

1. Землетрясения в Крыму: история и сейсмическая активность в настоящее время [Электронный ресурс] – URL: <https://vplate.ru/krym/zemletryaseniya/> (Дата обращения 25.10.2019).
2. Крымские землетрясения [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (Дата обращения 26.10.2019).
3. Бахчисарайское водохранилище [Электронный ресурс] – URL: <https://rg.ru/> (Дата обращения 16.11.2019)
4. Иванкова Т.В. Природно-хозяйственные структуры малых речных бассейнов горного рельефа и пути их развития: инновации, оптимизация или реставрация /Т.В. Иванкова, П.А. Кипкеева, Ю.Я. Потапенко // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. - Т. 26 № 1 (89). – Уфа, 2018 - С. 67-75.
5. СП 39.13330.2012. Свод правил. Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная версия СНиП 2.06.05-84\*.
6. Справочник по гидравлике. Под редакцией д-ра тех. наук, проф. В.А. Большакова. – К.: Высшая школа, 1977. – 280 с.
7. Справочник по гидравлическим расчетам. Под редакцией П.Г. Киселева. Изд. 4-е, переработ. и доп. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
8. Справочник по гидротехнике. – М.: ВОДГЕО, 1955. – 832 с.
9. Бахчисарайское водохранилище. Водохозяйственный паспорт. Укргипроводхоз, 1979 г.
10. Измерение геометрических параметров дамбы Бахчисарайского водохранилища геодезическим методом. Отчет о комплексных инженерных изысканиях. Часть I. Инженерно-геодезические изыскания, г. Ростов-на-Дону, 2017г.
11. Декларация безопасности гидротехнических сооружений Бахчисарайского водохранилища, 2016 г.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Earthquakes in Crimea: history and seismic activity at present [Electronic resource] – URL: <https://vplate.ru/krym/zemletryaseniya/> (Accessed: 10/25/2019) [in Russian]
2. Crimean earthquakes [Electronic resource] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (Accessed: 10.26.2019).
3. The Bakhchisaray reservoir [Electronic resource] – URL: <https://rg.ru/> (Accessed: 11.16.2019) [in Russian]

4. Ivankova T.V. Prirodno-hozyajstvennye struktury mal'nykh rechnykh bassejnov gornogo relefa i puti ih razvitiya: innovacii, optimizaciya ili restavraciya [Natural and economic structures of small river basins of mountainous terrain and ways of their development: innovation, optimization or restoration] / T.V. Ivankova, P.A. Kipkeeva, Yu.Ya. Potapenko // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. – Vol. 26 No. 1 (89). – Ufa, 2018 – P. 67-75. [in Russian]
5. SP 39.13330.2012. Set of rules. Dams from soil materials. The updated version of SNiP 2.06.05-84 \*. [in Russian]
6. Spravochnik po gidravlike [Handbook of hydraulics]. Edited by Dr. Tech. sciences, prof. V.A. Bolshakova. – K.: Higher school, 1977. – 280 p.
7. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam [Handbook of hydraulic calculations]. Edited by P.G. Kiseleva. Ed. 4th, overwork. and add. – M.: Energy, 1972. – 312p. [in Russian]
8. Spravochnik po gidrotekhnike [Handbook of hydraulic engineering]. – M.: VODGEO, 1955. – 832 p. [in Russian]
9. The Bakhchisaray reservoir. Water passport. Ukgiprovodkhoz, 1979. [in Russian]
10. Measurement of the geometric parameters of the dam of the Bakhchisarai reservoir using the geodetic method. Integrated Engineering Survey Report. Part I. Engineering and geodetic surveys, Rostov-on-Don, 2017. [in Russian]
11. Declaration of the safety of hydraulic structures of the Bakhchisarai reservoir, 2016. [in Russian]

**ФАЗООБРАЗОВАНИЕ ПРИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ ГАФНАТОВ ЕВРОПИЯ И ЛАНТАНА: AB INITIO МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

Научная статья

**Еремеева Ж.В.<sup>1</sup>, Воротыло С.<sup>2,\*</sup>, Бардасова К.В.<sup>3</sup>, Саенко А.А.<sup>4</sup>**<sup>1, 2, 3, 4</sup> Национальный исследовательский технологический университет, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (stepan.vorotylo[at]gmail.com)

**Аннотация**

Методом первопринципного моделирования построены фазовые диаграммы для систем La-Hf-O и Eu-Hf-O при 0 К. Одним из основных отличий данных систем является существование в системе La-Hf-O неравновесной фазы  $\text{La}_2\text{HfO}_5$ . Эквимольные смеси оксидов  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  и  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  подвергали механохимической обработке в течение 45 мин. Исследована структура и фазовый состав продуктов механосинтеза. Сформулированы механизмы фазовых превращений при механохимической обработке смесей  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  и  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$ . Для смеси  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  выявлено образование неравновесной фазы  $\text{La}_2\text{HfO}_5$  в процессе механохимической обработки и значительно более высокая степень конверсии исходных реагентов в стабильную фазу  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ , в то время как для смеси  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  характерна селективная аморфизация оксида европия, структурные превращения оксида гафния из моноклинной модификации в орторомбическую, и сравнительно низкая конверсия в фазу  $\text{Eu}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ .

**Ключевые слова:** механохимический синтез, фазовые превращения, первопринципные вычисления, нейтронные поглотители.

**PHASE FORMATION IN MECHANOCHEMICAL SYNTHESIS OF EUROPIUM AND LANTHANUM HAFNATES: AB INITIO MODELING AND EXPERIMENTAL STUDY**

Research article

**Eremeeva Zh.V.<sup>1</sup>, Vorotylo S.<sup>2,\*</sup>, Bardasova K.V.<sup>3</sup>, Saenko A.A.<sup>4</sup>**<sup>1, 2, 3, 4</sup> National University of Science and Technology, Moscow, Russia

\* Corresponding author (stepan.vorotylo[at]gmail.com)

**Abstract**

The phase diagrams for La-Hf-O and Eu-Hf-O systems at 0 K were constructed with the help of the first-principle modeling method. One of the main differences between these systems is the existence of a nonequilibrium  $\text{La}_2\text{HfO}_5$  phase in the La-Hf-O system. Equimolar mixtures of  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  and  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  oxides were subjected to mechanochemical treatment for 45 min. The structure and phase composition of the products of mechanochemical synthesis were investigated. The authors formulated mechanisms of phase transformations during the mechanochemical treatment  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  and  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  mixtures. The formation of the non-equilibrium  $\text{La}_2\text{HfO}_5$  phase during mechanochemical treatment and a significantly higher degree of conversion of the starting reagents to the stable  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  phase were detected for the  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  mixture, while the  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  mixture was characterized by selective amorphization of europium oxide, structural transformations of hafnium oxide from monoclinic orthorhombic, and relatively low conversion to the  $\text{Eu}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  phase.

**Keywords:** mechanochemical synthesis, phase transformations, first-principle calculations, neutron absorbers.

**Введение**

Поглощающие материалы должны обладать комплексом свойств, включая высокое сечение теплового захвата нейтронов, как можно более низкую скорость деградации поглощающих нейтроны изотопов во время срока эксплуатации, высокую стойкость к радиационным повреждениям и разбуханию под действием облучения, в том числе при повышенных температурах, а также высокой коррозионной стойкостью [1], [2], [3]. В качестве поглощающих элементов обычно используются  $\text{HfB}_2$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ , сплавы Ag-In-Cd и составы  $\text{B}_4\text{C}$ - (10 ... 20) мас.%  $\text{HfB}_2$ . В то же время титанаты и гафнаты лантаноидов по своим свойствам могут превосходить вышеперечисленные материалы [1], [4], [5].

Сложные оксиды лантаноидов также обладают спектром других привлекательных свойств, включая магнитокалорические [10] и электромагнитные [11], [12], [13]. Данные материалы перспективны для применения в сенсорах [14], [15], а также электронных [16] и фотонных [17], [18] устройствах.

Механохимический синтез в настоящее время широко используется для производства интерметаллических соединений, твердых растворов и аморфных материалов, в том числе титанатов редкоземельных металлов [19], [20].

Целью данного исследования было выявление закономерностей и механизмов структуро- и фазообразования при механохимической обработке эквимольных смесей оксидов  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  и  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$ , а также установление взаимосвязей между особенностями фазовых диаграмм соответствующих систем и результатами их механохимической обработки.

**Материалы и методы**

Методология термодинамических расчетов

Термодинамические оценки проводились с использованием открытых баз данных Materials Project [21] и Inorganic Crystal Structure Database (ICSD) [22]. Фазовые диаграммы рассчитывали по методу, предложенному в работе [23]. Метод включает в себя использование программного обеспечения Vienna Ab Initio Simulation Package (VASP) [24],



[25] в сочетании с методом обобщённого градиентного приближения (GGA) в параметризации Perdew-Burke-Ernzerhof [26]. Основные состояния моделировали применяя псевдопотенциалы, рассчитанные методом «проекции присоединенной волны» (projector augmented wave, PAW) [27]. Энергия обрезания была установлена на 30% выше чем максимальное обрезание обозначенное псевдопотенциалами элементов в ПО VASP [28], [29], [31].

Использовали разбиение по k-точкам в количестве (500)/n, где n соответствует количеству атомов в элементарной ячейке, равномерно распределенных в k-пространстве с гамма-центрированной сеткой для гексагональных ячеек и сеткой Монкхорста-Пака [32] для всех остальных ячеек. Для всех соединений исходная кристаллографическая информация была получена из базы данных неорганических структур (ICSD), а затем подвергнута структурной оптимизации с помощью ПО AFLOW [33].

Энергетический порог электронной конвергенции был установлен на  $5 \times 10^{-5}$  эВ×n, а ионной конвергенции – в 10 раз выше на основании рекомендаций представленных в [34]. Для бинарных оксидов мы проверяли множественные магнитные конфигурации в помощью автоматизированного алгоритма; для трехкомпонентных оксидов (гафнатов) мы инициализировали все вычисления только ферромагнитно. Мы использовали энергетическую поправку в 1,36 эВ для молекулы O<sub>2</sub> с целью корректировки расчета энергии связи в GGA и корреляционных погрешностей, как предложено в работе [35]. Для расчета параметра GGA+U использовали ротационно-инвариантный подход, предложенный Дударевым [36].

#### Методология эксперимента

В качестве исходных реагентов использовались порошки оксида лантана La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ХЧ, ТУ 48-4-523-89 чистота 99,8 мас.%), оксида европия Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ХЧ, ТУ 48-4-523-90 чистота 99,2 мас.%) и оксида гафния HfO<sub>2</sub> марки ГФО-1 (ТУ 48-4-201-720, моноклинная кристаллическая решетка).

Механохимический синтез проводили с использованием планетарной шаровой мельницы «Активатор-2С» с барабанами и шарами из углеродистой стали. Скорость вращения водила составляла 600 оборотов в минуту; скорость вращения барабанов составляла 1200 оборотов в минуту. Отношение шаров к порошковой смеси было равно 35:1. Механохимический синтез проводили в атмосфере аргона при давлении 3 атмосфер в течение 45 минут. Аргоновая атмосфера использовалась для предотвращения окисления стальных барабанов и шаров во время механохимического синтеза, что могло привести к усилению загрязнения материала железом.

РФА исходных оксидов и синтезированных порошков проводили с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-2. Сканирование проводилось с использованием излучения CuK<sub>α</sub> в диапазоне 2θ углов от 10° до 130°. Исследование морфологии исходных порошков и продуктов механосинтеза проводили на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N, оснащённом энергодисперсионным спектрометром NORAN.

#### Результаты и обсуждение

На Рисунке 1 представлены расчетные трехкомпонентные фазовые диаграммы Eu-Hf-O и La-Hf-O при 0К. При механосинтезе системе сообщается избыточная механическая энергия, которая может приводить к формированию в процессе синтеза нестабильных соединений. Эти соединения могут либо фиксироваться в виде метастабильных фаз, либо переходить в аморфную фазу, либо распадаться с образованием более термодинамически стабильных фаз.

В системе Eu-Hf-O возможно существование двух стабильных соединений кубической сингонии: EuHfO<sub>3</sub> (пространственная группа Pm-3m) и Eu<sub>2</sub>Hf<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (пространственная группа Fd-3m). Нестабильные тройные соединения в данной системе отсутствуют. Согласно расчетной фазовой диаграмме, выбранный для синтеза эквимоллярный состав (1 моль Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 1 моль HfO<sub>2</sub>) соответствует смеси Eu<sub>2</sub>Hf<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и остаточных стабильных оксидов европия (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Eu<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). В то же время в системе La-Hf-O возможно существование одного стабильного соединения La<sub>2</sub>Hf<sub>2</sub>O<sub>7</sub> с кубической сингонией (пространственная группа Fd-3m) и нестабильного соединения La<sub>2</sub>HfO<sub>5</sub> с орторомбической либо моноклинной сингонией (возможные пространственные группы: Pnma, Cmcm, C2/C). Согласно диаграмме (Рисунок 1), соединение La<sub>2</sub>HfO<sub>5</sub> может распадаться на La<sub>2</sub>Hf<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

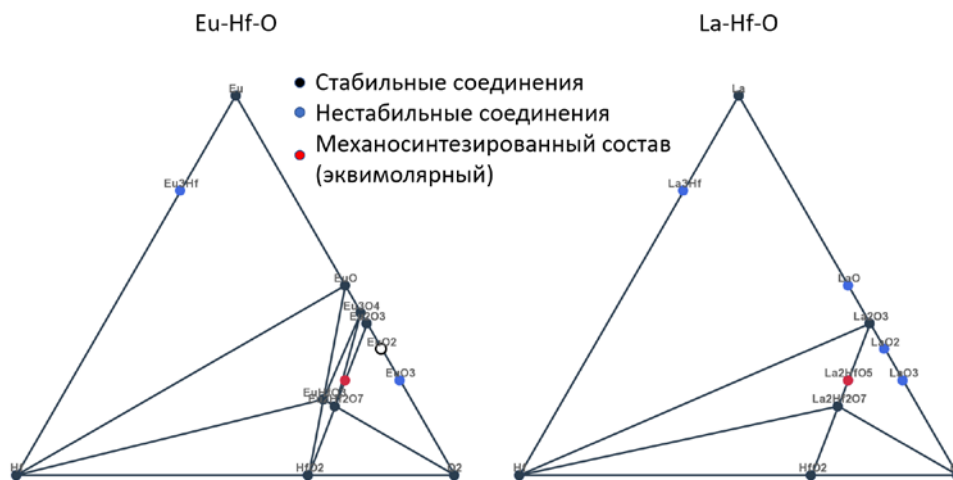


Рис. 1 – Расчетные трехкомпонентные фазовые диаграммы Eu-Hf-O и La-Hf-O

Примечание: черные точки соответствуют стабильным соединениям, синие – нестабильным, красные – эквимоллярным составам, которые получали методом механосинтеза. На диаграмме La-Hf-O эквимоллярный состав соответствует нестабильной фазе La<sub>2</sub>HfO<sub>5</sub>



Таким образом, сравнение фазового состава и микроструктуры эквимольных составов в системе Eu-Hf-O (1 моль  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  + 1 моль  $\text{HfO}_2$ ) и La-Hf-O (1 моль  $\text{La}_2\text{O}_3$  + 1 моль  $\text{HfO}_2$ ) позволит установить, зависит ли структуро- и фазообразование продуктов синтеза в данных системах от наличия нестабильного тройного соединения  $\text{La}_2\text{HfO}_5$ .

На рисунке 2 представлена морфология исходных бинарных оксидов:  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  (рисунок 2 а),  $\text{La}_2\text{O}_3$  (рисунок 2 б) и  $\text{HfO}_2$  (рисунок 2 в).

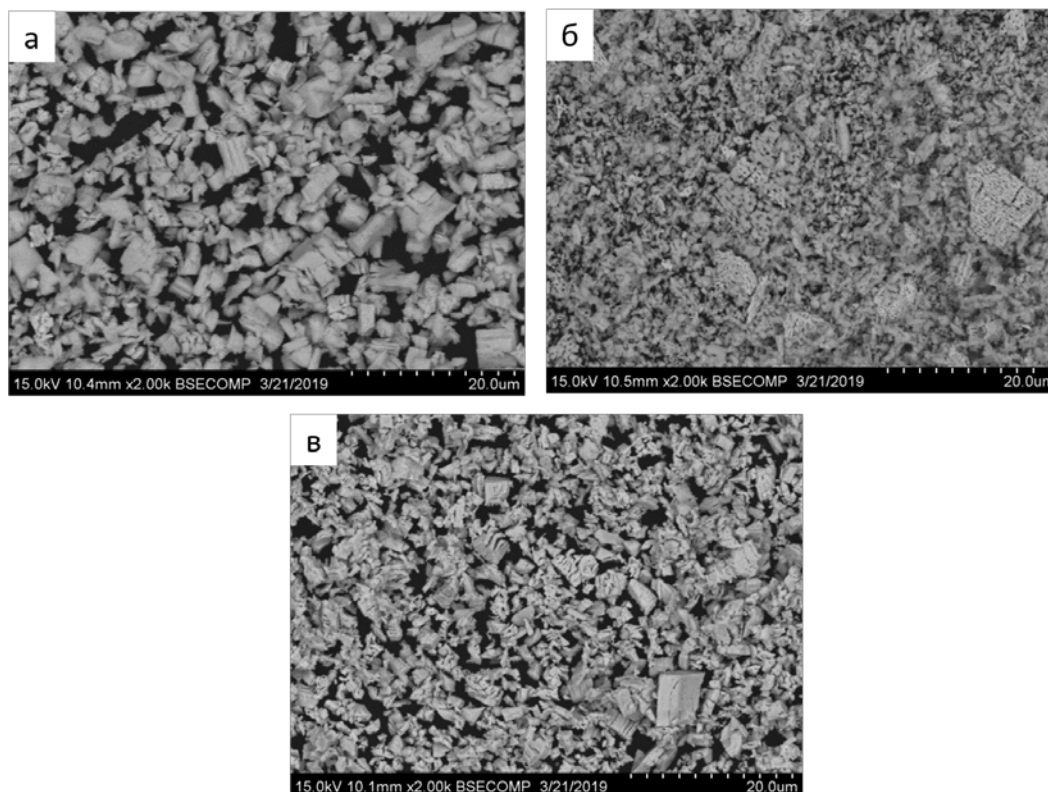


Рис. 2 – СЭМ изображения порошков оксида европия (а), оксида лантана (б) и оксида гафния (в)

Все использованные порошки характеризуются осколочной формой и средней степенью агломерированности. Частицы оксида европия имеют размер 2-6 мкм. Размер частиц оксида лантана несколько меньше (0,5-1 мкм), однако они образуют агломераты размером до 6 мкм. Зернистость порошка оксида гафния составляет 2-4 мкм.

Морфология продуктов синтеза представлена на Рисунке 3. Хотя размер частиц и степень их агломерации в смесях  $\text{La}_2\text{O}_3$  +  $\text{HfO}_2$  (Рисунок 3 а,б) и  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  +  $\text{HfO}_2$  (Рисунок 3 в,г) схожи, смесь  $\text{La}_2\text{O}_3$  +  $\text{HfO}_2$  (Рисунок 3 б) является более гомогенной по составу чем смесь  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  +  $\text{HfO}_2$  (Рисунок 3 г), в которой присутствуют мелкие светлые частицы (предположительно, недореагировавший оксид гафния).

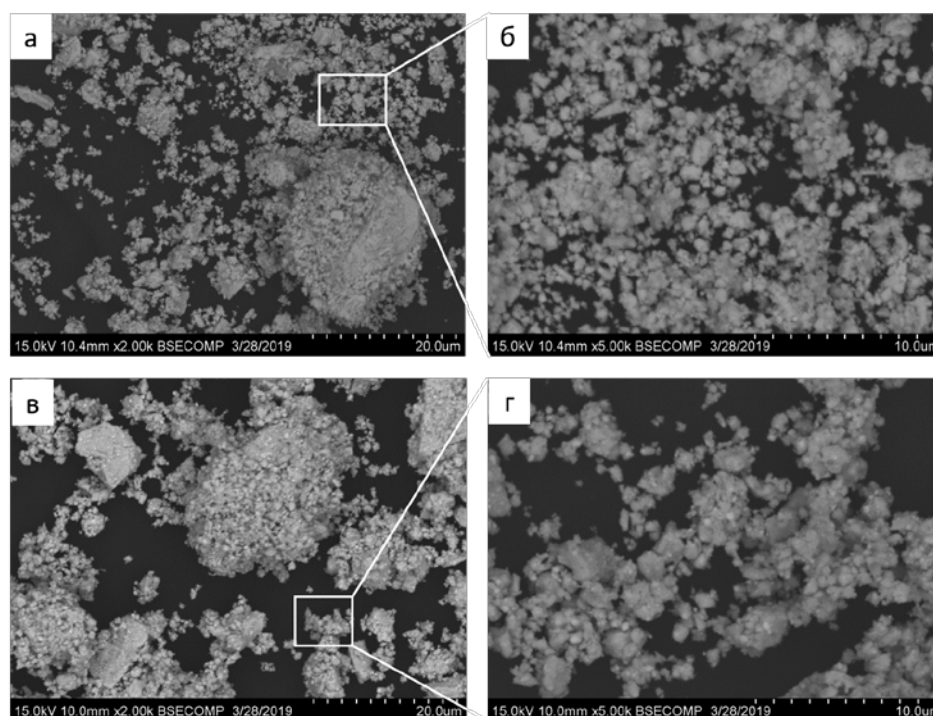


Рис. 3 – Морфология продуктов механохимического синтеза в смесях  $\text{La}_2\text{O}_3$  +  $\text{HfO}_2$  (а,б) и  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  +  $\text{HfO}_2$  (в, г)

Рентгеноструктурный фазовый анализ продуктов механохимического синтеза смеси  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  представлен на Рисунке 4. Видно, что реагирование прошло не полностью – в образце присутствует большое количество диоксида гафния в моноклинной и орторомбической модификации. Равновесная тройная фаза  $\text{Eu}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  также присутствует, однако ее количество сравнительно невелико. Кроме того, в районе малых углов на рентгенограмме присутствует гало, которое говорит о наличии в образце заметного количества рентгеноаморфной фазы. Учитывая сравнительно небольшую интенсивность пиков  $\text{Eu}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  и отсутствие пиков, соответствующих оксидам европия, можно предположить, что оксид европия в основном локализован в рентгеноаморфной фазе. Кроме того, нужно отметить, что в процессе механохимической обработки частично происходит структурное превращение исходного моноклинного диоксида гафния в метастабильную орторомбическую модификацию.

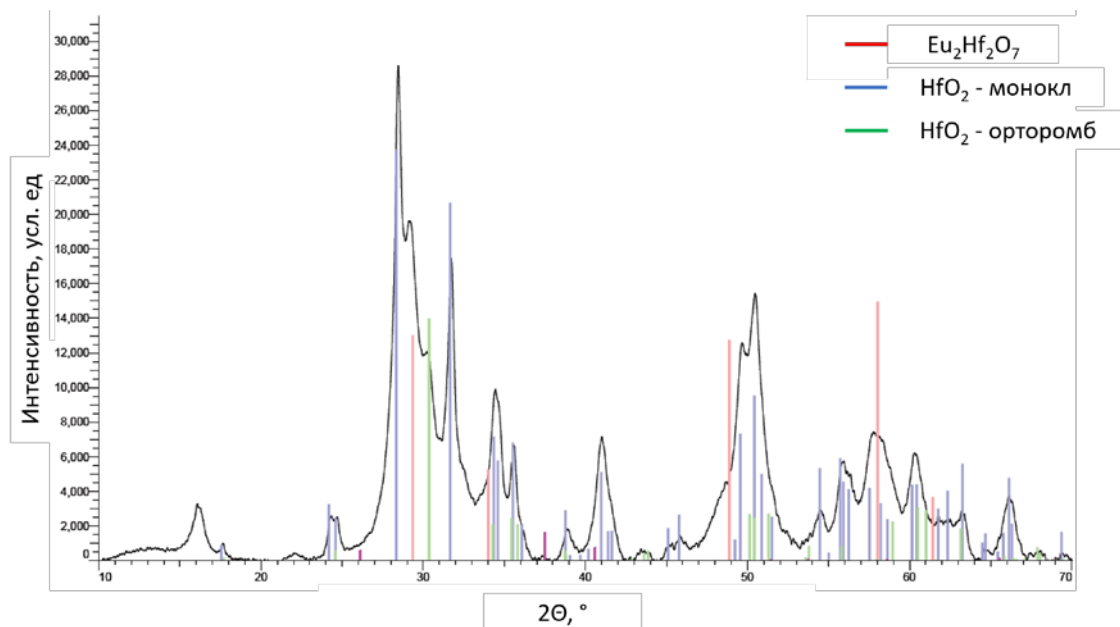


Рис. 4 – Спектр рентгеновской дифракции образца  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  после механохимической обработки в течение 45 мин

В то же время рентгеновский спектр продуктов механохимического синтеза смеси  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  (Рисунок 5) значительно отличается от такового для смеси  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  (Рисунок 4). В спектре отсутствуют линии какой-либо кристаллографической модификации оксида гафния. Основными продуктами являются  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  и  $\text{La}_2\text{O}_3$ , также присутствует метастабильная фаза  $\text{La}_2\text{HfO}_5$  и незначительное количество аморфной фазы переменного состава. Кроме того, стоит отметить пониженную интенсивность пиков и повышенный уровень шума на рентгенограмме для смеси  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  (Рисунок 4) по сравнению со смесью  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  (Рисунок 4).

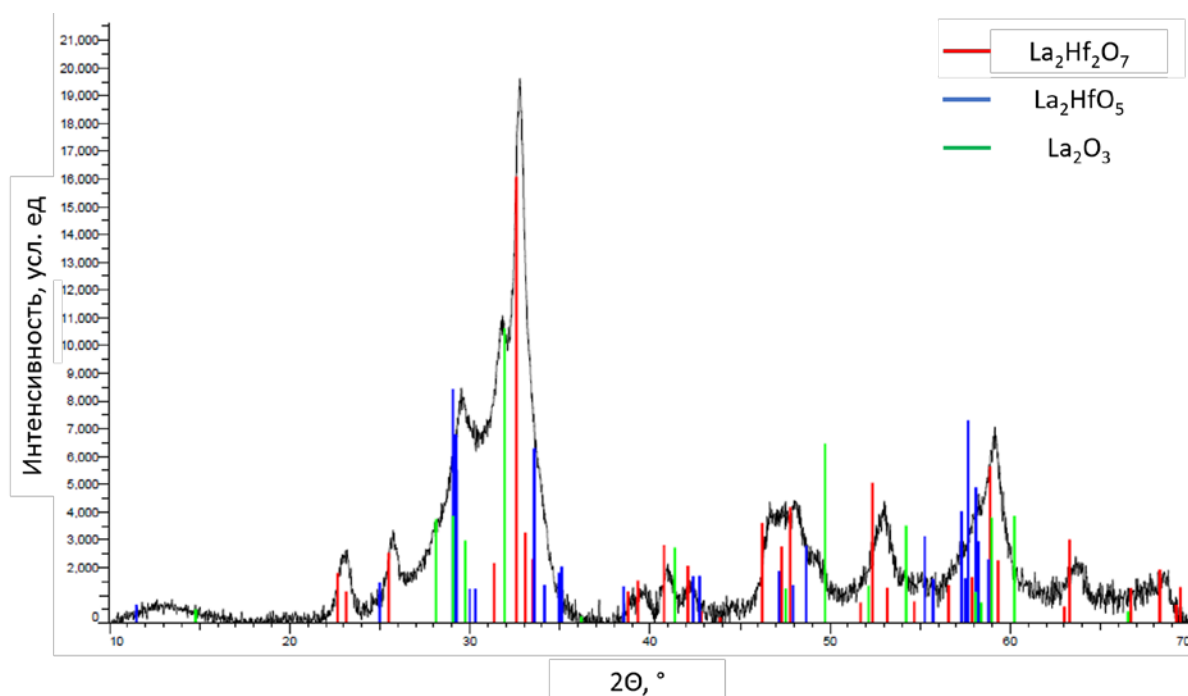


Рис. 5 – Спектр рентгеновской дифракции образца  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  после механохимической обработки в течение 45 мин

Таким образом, существование неравновесной фазы в системе La-Hf-O оказывает существенное влияние на механизм фазовых превращений при механохимическом синтезе в смесях  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  и  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  (Рисунок 6) и обеспечивает значительно более полную конверсию исходных реагентов в фазу  $\text{Me}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ , где Me – металл группы лантана.

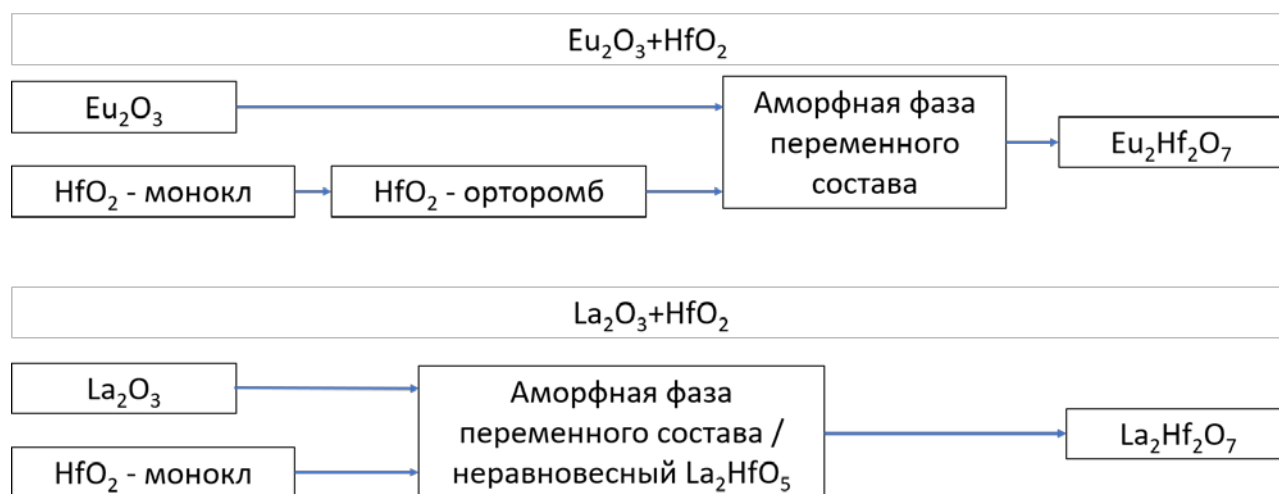


Рис. 6 – Механизмы фазовых превращений при механохимическом синтезе в смесях  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  и  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$

Стоит отметить, что влияние метастабильной фазы на механизмы фазо-структурообразования при отжиге аморфизированных смесей было ранее изучено для системы Dy-Ti-O [20]. Был предложен следующий механизм формирования фаз:  $(\text{Dy}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)_{\text{аморф}} \rightarrow \text{метастабильная кубическая фаза} \rightarrow \text{Dy}_2\text{O}_3 + \text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Dy}_2\text{TiO}_5$ .

Метастабильная кубическая фаза, обнаруженная авторами [20], по-видимому, является высокотемпературной кубической модификацией  $\text{Dy}_2\text{TiO}_5$ , которая образуется либо при увеличении продолжительности механосинтеза, либо при отжиге аморфной смеси  $(\text{Dy}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$  при  $800^\circ\text{C}$ . При температуре  $900^\circ\text{C}$  [20] фиксировался распад кубического  $\text{Dy}_2\text{TiO}_5$  с образованием  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  и  $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  – процесс, аналогичный превращению неравновесного  $\text{La}_2\text{HfO}_5$  в смесь  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  и  $\text{La}_2\text{O}_3$ . Однако в системе La-Hf-O данное превращение, по-видимому, протекает уже во время механосинтеза и не требует дополнительного нагрева.

#### Выводы

1. Методом первопринципного моделирования построены фазовые диаграммы для систем La-Hf-O и Eu-Hf-O. Одним из основных отличий данных систем является существование в системе La-Hf-O неравновесной фазы  $\text{La}_2\text{HfO}_5$ .

2. Эквимольные смеси оксидов  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  и  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  подвергали механохимической обработке в течение 45 мин. Для смеси  $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  выявлено образование неравновесной фазы  $\text{La}_2\text{HfO}_5$  в процессе механохимической обработки и значительно более высокая степень конверсии исходных реагентов в стабильную фазу  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ , в то время как для смеси  $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{HfO}_2$  характерна селективная аморфизация оксида европия, структурные превращения оксида гафния из моноклинной модификации в орторомбическую, и сравнительно низкая конверсия в фазу  $\text{Eu}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ .

#### Финансирование

Работа проводилась в рамках гранта РФФИ (номер гранта 19-08-00273).

#### Funding

The article was prepared under the RFBR grant 19-08-00273.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Sickafus K.E. Radiation-induced amorphization resistance and radiation tolerance in structurally related oxides / Sickafus K.E. et al. // Nat. Mater. 2007. Vol. 3. P. 217–223.
2. Gosset D. 15 - Absorber materials for Generation IV reactors / Gosset D. // Structural Materials for Generation IV Nuclear Reactors. Elsevier Ltd, 2017. 533–567 p.
3. Risovany V.D. Dysprosium hafnate as absorbing material for control rods / Risovany V.D. et al. // J. Nucl. Mater. 2006. Vol. 355. P. 163–170.
4. Risovany V.D. Dysprosium titanate as an absorber material for control rods / Risovany V.D., Varlashova E.E., Suslov D.N. // J. Nucl. Mater. 2000. Vol. 281. P. 84–89.
5. Kim H.S. Properties of Dysprosium Titanate as a Control Rod Material / Kim H.S. et al. 2007. P. 10–11.
6. Zhang J. Ion-irradiation-induced structural transitions in orthorhombic  $\text{Ln}_2\text{TiO}_5$  / Zhang J. et al. // Acta Mater. Acta Materialia Inc., 2013. Vol. 61, № 11. P. 4191–4199.
7. Sinha A. Development of Dysprosium Titanate Based Ceramics / Sinha A., Sharma B.P. // J. Am. Ceram. Soc. 2005. Vol. 88, № 8. P. 1064–1066.
8. Krasnorutskii V.S. Hot Pressing Of Dysprosium Hafnate And Titanate Pellets / Krasnorutskii V.S. et al. 2012. Vol. 50, № 11. P. 708–713.
9. Galahom A.A. Investigation of different burnable absorbers effects on the neutronic characteristics of PWR assembly / Galahom A.A. // Annu. Nucl. ENERGY. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 94. P. 22–31.

10. Su Y. Large magnetocaloric properties in single-crystal dysprosium titanate / Su Y. et al. // *Mater. Lett. Elsevier B.V.*, 2012. Vol. 72. P. 15–17.
11. Sakakibara T. Liquid – gas transition in the spin-ice dysprosium titanate / Sakakibara T. et al. // *J. Magn. Magn. Mater.* 2004. Vol. 276. P. 1312–1313.
12. Scharffe S. Heat transport of the spin-ice materials Ho<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> / Scharffe S. et al. // *J. Magn. Magn. Mater. Elsevier*, 2014. P. 1–5.
13. Lau G.C.Ã. Stuffed rare earth pyrochlore solid solutions / Lau G.C.Ã. et al. 2006. Vol. 179. P. 3126–3135.
14. Pan T.. Structural and Sensing Characteristics of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> Electrolyte – Insulator – CМiconductor pH Sensors / Pan T., Lin C. // *J. Phys. Chem.* 2010. Vol. 114. P. 17914–17919.
15. Lin Y. Integrating solid-state sensor and microfluidic devices for glucose, urea and creatinine detection based on enzyme-carrying alginate microbeads / Lin Y. et al. // *Biosens. Bioelectron. Elsevier*, 2013. Vol. 43. P. 328–335
16. Chen F. Physical and Electrical Properties of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> Metal Oxide – High- k Oxide – Silicon-Type Nonvolatile Memory Devices / Chen F., Pan T. // *J. Electron. Mater.* 2012. Vol. 41, № 8. P. 2197–2203.
17. Potel M. Sol-gel synthesis and crystallization kinetics of dysprosium-titanate Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> for photonic applications / Potel M. et al. // *Mater. Chem. Phys.* 2015. Vol. 168. P. 159–167.
18. Renuka N.K. Preparation and photocatalytic activity of anatase titania modified with dysprosium oxide / Renuka N.K., Akhila A.K. // *J. Chem. Pharm. Sci.* 2016. № 1. P. 79–84
19. Fuentes A.F. Synthesis of disordered pyrochlores, A<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (A = Y, Gd and Dy), by mechanical milling of constituent oxides / Fuentes A.F. et al. // *Solid State Sci.* 2005. Vol. 7, № 4. P. 343–353.
20. Huang J. Microstructural Evolution of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Powder Mixtures during Ball Milling and Post-Milled Annealing / Huang J. et al. // *Materials (Basel)*. 2017. Vol. 10, № 1. P. 14–19.
21. Jain A. The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation *APL Materials* / A. Jain, S.P. Ong, G. Hautier et al. 2013, 1(1), 011002.
22. Fiz Karlsruhe, The Inorganic Crystal Structure Database / Fiz Karlsruhe [Electronic resource] – URL: <http://icsd.fiz-karlsruhe.de/icsd/> (accessed: 10.12.2019)
23. Jain A. Formation enthalpies by mixing GGA and GGA + U calculations. *Physical Review B* / A. Jain, G. Hautier, S. P. Ong 2011, 84(4), 045115.
24. Kresse, G. Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set // Kresse, G., & Furthmüller, J. // *Physical Review B* – 54(16), 11169–11186. doi:10.1103/physrevb.54.1116927
25. Kresse G. Efficiency of ab-initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set / G. Kresse, J. Furthmüller // *Computational Materials Science*, Volume 6, Issue 1, 1996, Pages 15-50
26. Perdew J.P. Generalized Gradient Approximation Made Simple / Perdew, J. P., Burke, K., & Ernzerhof, M. // *Physical Review Letters*, 77(18), 3865–3868
27. Blöchl, P. E. Projector augmented-wave method. *Physical Review B* / Blöchl, P. E. – 50(24), 17953–17979.
28. Kresse, G. From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method // Kresse, G., & Joubert, D. // *Physical Review B* – 59(3), 1758–1775. doi:10.1103/physrevb.59.1758
29. Kresse G. VASP the guide, 2010 / G. Kresse, M. Marsman, and J. Furthmuller – URL: <http://cms.mpi.univie.ac.at/vasp/vasp/vasp.html> (accessed: 10.12.2019)
30. Kresse, G. From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method // Kresse, G., & Joubert, D. // *Physical Review B* – 59(3), 1758–1775. doi:10.1103/physrevb.59.1758
31. Kresse G. VASP the guide, 2010 / Kresse G., M. Marsman, and J. Furthmuller – URL: <http://cms.mpi.univie.ac.at/vasp/vasp/vasp.html> (accessed: 10.12.2019)
32. Monkhorst, H.J. Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B* / Monkhorst, H. J., & Pack, J. D. – 13(12), 5188–5192.
33. Wahyu Setyawan High-throughput electronic band structure calculations: Challenges and tools / Wahyu Setyawan, Stefano Curtarolo // *Computational Materials Science*, Volume 49, Issue 2, 2010, Pages 299-312
34. Anubhav J. A high-throughput infrastructure for density functional theory calculations / Anubhav Jain, Geoffroy Hautier, Charles J. Moore et al. // *Computational Materials Science*, Volume 50, Issue 8, 2011, Pages 2295-2310
35. Wang L. Oxidation energies of transition metal oxides within the GGA+U framework // Wang, L., Maxisch, T., & Ceder, G. // *Physical Review B* – 73(19). doi:10.1103/physrevb.73.195107
36. Dudarev S. L. Electron-energy-loss spectra and the structural stability of nickel oxide: An LSDA+U study / Dudarev, S. L., Botton, G. A., Savrasov, S. Y. // *Physical Review B*, 57(3), 1505–1509. doi:10.1103/physrevb.57.1505

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИВИТИЯ ДЕТЕЙ И ОТНОШЕНИЯ РОДИТЕЛЕЙ К ВАКЦИНОПРОФИЛАКТИКЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕСТА ПРОЖИВАНИЯ**

Научная статья

**Третьякова О.С.<sup>1</sup>, Белобородова А.В.<sup>2</sup>, Гречка П.С.<sup>3,\*</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Медицинская академия им. С.И. Георгиевского, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

\* Корреспондирующий автор (polinagrecka1201[at]gmail.com)

**Аннотация**

В статье проведена оценка и сравнение отношения к вакцинации детей родителей, проживающих в городе и районах, и выявление факторов, оказывающих влияние на формирование их мнения. Проведено анкетирование 160 респондентов. Установлено, что большинство (40%) родителей отрицательно относится к вакцинопрофилактике. Наиболее негативное отношение респонденты выразили к противогриппозной профилактике. Особенно это выражено в сельской местности (56% против 49%). В формировании негативного настроения родителей наибольшее значение оказывает СМИ и социальные сети (45%). Проведен анализ привитости 424 детей, посещающих детские сады в городской и сельской местности. Установлено, что практически четверть детей (25%) имели отклонения от календаря прививок или вовсе не были привиты из-за добровольного отказа родителей от вакцинации (15%), доля отказов от прививок против гриппа составила 72%. При сравнительном анализе вакцинации среди сельских детей зафиксирован больший процент отказов как от обязательных прививок (17 против 12%), так и от противогриппозной профилактики (74% против 69%).

**Ключевые слова:** отношение родителей к вакцинопрофилактике, вакцинация против гриппа, национальный календарь, дети.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF CHILDHOOD VACCINATION AND ATTITUDE OF PARENTS TO VACCINAL PREVENTION, DEPENDING ON PLACE OF RESIDENCE**

Research article

**Tretyakova O.S.<sup>1</sup>, Beloborodova A.V.<sup>2</sup>, Grechka P.S.<sup>3,\*</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Medical Academy named after S.I. Georgievsky, Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

\* Corresponding author (polinagrecka1201[at]gmail.com)

**Abstract**

The article assesses and compares the attitude to child vaccination of parents living in the city and the regions, and identifies factors influencing the formation of their opinions. The authors conducted a survey of 160 respondents. It was found that the majority (40%) of parents have a negative attitude toward vaccination. The respondents expressed the most negative attitude towards influenza prevention. This is particularly typical for rural areas (56% versus 49%). Media and social networks are of greatest importance (45%) in the formation of a negative attitude of parents. The vaccination of 424 children attending kindergartens in urban and rural areas was analyzed. It was found that almost a quarter of children (25%) had deviations from the vaccination calendar or were not vaccinated at all because of their parents' voluntary refusal to vaccinate (15%), the share of refusals from vaccinations against influenza was 72%. A comparative analysis of vaccination among rural children showed a higher percentage of refusals from both mandatory vaccinations (17 versus 12%) and from influenza prophylaxis (74% versus 69%).

**Keywords:** parental attitude to vaccination, influenza vaccination, national calendar, children.

**Введение**

Современная медицина рассматривает вакцинацию как самый эффективный и экономически выгодный способ профилактики инфекционных заболеваний. [1], [10, С. 74-80]. Однако, несмотря на научно-доказанную положительную роль вакцинации в последние годы в мире складывается неоднозначное отношение к прививкам. Современные вакцины обеспечивают высокий уровень защиты от большого количества заболеваний, связанных с ними летальных исходов и инвалидизации. [5]. Тем не менее ряды противников прививок не редуют, а увеличиваются с каждым годом.

Точную причину такой неутешительной тенденции выявить сложно. Наиболее скептически к данному виду профилактики относятся родители маленьких детей, ведь именно они принимают решение о проведении вакцинации. [9]. Так называемые «антипрививочники» приводят различные аргументы, защищая свою точку зрения. Некоторые отказываются от прививок по религиозным причинам, другие из-за боязни осложнений, многие же убеждены, что вакцины – это ничто иное, как заговор фармакологических компаний. [6], [7, С. 3-9]. Российская федерация (РФ), в том числе Республика Крым (РК) не является исключением. С каждым годом проблема вакцинации в РФ становится все более острой. Антипрививочное движение оспаривает безопасность и целесообразность вакцинации как метода профилактики, в большей части используя средства массовой информации и интернет ресурсы. [8, С. 12-35].

Сложившаяся ситуация вызывает беспокойство, поскольку негативная информация в отношении вакцинации ведет к увеличению числа отказов и, как следствие, ухудшению эпидемиологической ситуации. [3]. Показательной является эпидемия кори, начавшаяся в Европе в 2017-м, когда число заболевших составило 13 000 в год. В 2018 году,

по данным ВОЗ, уже более 82 000 детей и взрослых заразились корью [2]. Таким образом, вне зависимости от мотивации и причин отказа последствия являются неутешительными.

Данная тенденция прослеживается не только в отношении вакциноуправляемых инфекций, но и в отношении сезонных заболеваний. По данным Межрегионального управления Роспотребнадзора в РК в 2019 году острыми респираторными вирусными инфекциями (ОРВИ) заболело 5576 человек, что составило 29,1 на 10 000 населения. По данным этого же источника заболеваемость ОРВИ по Крыму превысила эпидемиологический порог на 8%. В связи с этим специалисты прогнозируют высокий уровень заболеваемости гриппом в осенне-зимний период [4].

Цель исследования: сравнительная оценка отношения родителей к вакцинации детей и их привития в городской и сельской местности.

#### **Методы и принципы исследования**

Для оценки отношения к вакцинации проводилось анонимное анкетирование родителей города Симферополя и Симферопольского района, дети которых посещают дошкольные образовательные учреждения (ДОУ). Общее количество респондентов составило 160. В зависимости от места проживания они были разделены на две группы - проживающих в городе ( $n=80$ ) и в сельской местности ( $n=80$ ). Авторский опросник состоял из 14 вопросов открытого и закрытого типа, которые позволяли оценить субъективное отношение респондента к вакцинации, и выявить основные причины отказа от прививок.

В этот же период проводилась оценка привития детей в соответствии с календарем прививок и вакцинации против гриппа в г. Симферополе и Симферопольском районе. Был проведен анализ 424 медицинских карт с календарем прививок в 4 детский садах. В 2 городских детских садах их количество составило 218, из них 59 (27%) – детей ясельной, 41 (19%) – младшей, 41 (19%) – средней и 77 (35%) – старшей групп. В 2-х районных детских садах проанализированы 206, из них 56 (27%) – ясельной группы, 57 (28%) – младшей, 56 (27%) – средней и 37 (18%) – старшей группы.

#### **Основные результаты и обсуждения**

При анализе анкет выявлено, что только 60% респондентов считают вакцинацию эффективным средством профилактики таких инфекционных заболеваний как корь, краснуха, туберкулез и т.д. Остальные же затруднялись ответить или считали такой вид профилактики бесполезным, а иногда и вредным. Вполне логично, что только 60% опрошенных родителей прививали своих детей в соответствии с национальным календарём прививок. Из этой группы только 37% родителей проводили вакцинацию по рекомендации участкового педиатра или семейного врача. Большая же часть респондентов отмечала, что дала согласие на проведение вакцинации по личному желанию, совету родственников и по иным причинам, что свидетельствует о недостаточной санитарно-просветительской работе учреждений здравоохранения, в частности на уровне первичного звена. В качестве основных факторов, послуживших причиной отказа от привития ребенка согласно календарю прививок, респонденты указали: боязнь осложнений (25%), сомнения в качестве вакцин (24%), болезнь ребенка и запрет родственников (23%), негативное отношение к вакцинации (18%), недостаточная информированность для принятия решения (10%), и др.

По результатам опроса выявлено, что несмотря на то, что позитивное отношение родителей к привитию детей в городе и селе не имело достоверных различий ( $p=0,18$ ), родители городских детей все же были более расположены к данному виду профилактики, в сравнении с сельскими (65% и 55% соответственно). Данная тенденция прослеживается и среди родителей, которые дали согласие на привитие своего ребенка по национальному календарю прививок: среди горожан этот показатель составил 60% против 57% среди сельских жителей. Основные факторы, послужившие причиной отказа от вакцинации согласно национальному календарю прививок в городе и сельской местности, разнятся незначительно. Так половина респондентов в обеих группах (49% и 51% соответственно,  $p=0,8$ ) высказала сомнения в качестве вакцин и боязнь возможных осложнений после привития, что свидетельствует о схожих мнениях по данному вопросу.

Наиболее негативное отношение респонденты выразили к проведению противогриппозной профилактики. Только 52% респондентов отметили, что относятся положительно к прививкам против гриппа. В тоже время 28% опрошенных относятся безразлично, а 20% – резко негативно. При этом почти половина (48%) респондентов считает, что обеспечить профилактику можно и без вакцинации, в частности, при помощи закаливания, хорошего питания, ограничения контакта с потенциально больными людьми, а также применения народных методов. При сравнении групп прослеживается более положительное отношение к противогриппозной профилактике именно среди респондентов, проживающих в городе (56% и 49%,  $p=0,3$ ). Более негативное отношение ( $p=0,03$ ) достоверно чаще регистрировалось среди родителей-сельчан (26% против 13% соответственно).

И в городе, и в районе более 45% респондентов отметили, что сформировали мнение о вакцинации из информации, поступающей из средств массовой информации, мнения родственников, друзей и знакомых. Это, в свою очередь, возвращает нас к проблеме недостаточной санитарно-просветительской работы среди населения.

Отношение родителей к вакцинации непосредственно отражается на показателях привития детей. В результате анализа состояния вакцинации установлено, что лишь 60% детей привиты в соответствии с календарем прививок, 25% – с его нарушением, а остальные 15% детей вовсе не вакцинированы или имеют отказ более чем от половины прививок. Календарь прививок в полном объеме выполнен в городских детских садах у 66% детей, в то же время в районе данный показатель был ниже (55%), что является статистически значимым ( $p=0,01$ ). И, хотя, отклонения от календаря прививок выявлены у 22% детей городских садов, при 28% в районных, достоверных различий выявлено не было ( $p=0,9$ ). При этом полный добровольный отказ составлял 12% в городе и 17% в районе ( $p=0,9$ ).

Сравнительный анализ привития в зависимости от возраста продемонстрировал, что существуют достоверные различия между сельскими и городскими детьми в ясельной группе ( $p=0,03$ ), в то время как в остальных группах данная закономерность не наблюдается (таб. №1), что свидетельствует о большей осведомленности родителей городских детей о необходимости проведения вакцинации в соответствии с календарем прививок.

Таблица 1 – Сравнительный анализ привития по календарю в различных возрастных группах

Группы	n	В соответствии		p	Нарушение календаря		p	Отказ от прививок		p
		n	%		n	%		n	%	
Ясельная (г)	59	42	72	0.03	12	20	0.37	5	8	0.06
Ясельная (с)	56	30	53		14	27		12	20	
Младшая (г)	41	27	65	0.23	8	20	0.14	6	15	0.89
Младшая (с)	57	30	53		19	33		8	14	
Средняя (г)	41	26	64	0.31	9	21	0.81	6	15	0.31
Средняя (с)	56	30	54		13	23		13	23	
Старшая (г)	77	48	62	0.83	21	28	0.73	8	10	0.46
Старшая (с)	37	22	60		9	25		6	15	

Закономерно прослеживается увеличение доли вакцинирования детей (72%) непосредственно перед оформлением в ДОУ, что обусловлено желанием родителей снизить риск заболеваний управляемыми инфекциями к моменту начала социализации ребенка.

Сравнительный анализ противогриппозного привития детей различных возрастных групп продемонстрировал, что статистические значимые различия существуют между сельскими и городскими детьми в ясельной и средней группе. Достоверность наблюдается в отношении различий по отказу (ясельная группа ( $p=0,006$ ); средняя группа ( $p=0,00004$ )) и нарушению привития ( $p=0,0002$ ;  $p=0,0003$  соответственно).

Таблица 2 – Сравнительный анализ противогриппозного привития детей различных возрастных групп

Группы	n	Норма привития		p	Нарушение привития		p	Отказ от привития		p
		n	%		n	%		n	%	
Ясельная (г)	59	3	6	0.07	6	10	0.006	50	84	0.0002
Ясельная (с)	56	9	17		17	30		30	53	
Младшая (г)	41	4	10	0.25	6	15	0.22	31	75	0.06
Младшая (с)	57	2	3		4	7		51	90	
Средняя (г)	41	9	20	1.0	16	40	0.00004	16	40	0.0003
Средняя (с)	56	11	20		3	5		42	75	
Старшая (г)	77	12	15	0.51	19	25	0.001	46	60	0.09
Старшая (с)	37	7	20		2	5		28	75	

В старшей возрастной группе установлены достоверные различия относительно нарушений привития от гриппа ( $p=0.001$ ), при этом процент нарушений в городской местности был в разы выше, чем в сельской (25% против 5%), что в свою очередь компенсируется большим процентом отказа от противогриппозной вакцинации в районе. Такая закономерность прослеживается в отношении всех других анализируемых групп.

После обработки результатов профилактического привития против гриппа выявлено, что лишь 14% детей привиты в полном объеме, 14% – с нарушением, а подавляющее большинство (72%) имеют отказ от сезонных прививок. В городских детских садах доля детей, привитых от гриппа, составила 12%, в то же время в сельской местности данный показатель незначительно выше (17%), и не был статистически значимым ( $p=0,1$ ). Нарушения графика привития достоверно чаще регистрировалось в городских ДОУ в сравнении с сельскими (19% против 9%,  $p=0,003$ ). При этом полный добровольный отказ составил в городе 69%, а в районе на 5% больше ( $p=0,24$ ). Что в городских, что в районных дошкольных учреждениях более половины детей (69% и 74%) не были привиты в полном объеме, что является следствием негативного отношения родителей.

### Заключение

Среди родителей прослеживается негативное отношение к вакцинации, как к методу профилактики. Особенно это выражено в сельской местности. Это во многом связано с тем, что практически треть респондентов опасаются осложнений, еще четверть опрошенных сомневаются в качестве вакцин, используемых на территории РФ, считая их опасными, а некоторые убеждены, что вакцинация вообще не влияет на заболеваемость. Почти половина родителей получают информацию о прививках из СМИ и социальных сетей, а не от медицинских работников, что приводит к формированию у населения ошибочного мнения о вакцинопрофилактике.

Достоверно большая часть нарушений календаря прививок и полных отказов как от вакцинации, так и от противогриппозной профилактики выявлена в сельских ДОУ. Наиболее привитыми в соответствии с календарем в городе были дети ясельной группы, во всех остальных возрастных группах дети привиты с нарушением (до 20%) либо вовсе не привиты в связи с полным отказом родителей от прививок.

В связи с этим, приоритетной задачей здравоохранения должно являться формирование мотивации у населения к вакцинопрофилактике для улучшения эпидемиологической ситуации. Для осуществления данной задачи необходимо повысить уровень санпросвет работы среди населения, а также привлечь СМИ к популяризации вакцинопрофилактики, что может значительно улучшить комплаентность общества по отношению к данному методу профилактики.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.



## Список литературы / References

1. Всемирная организация здравоохранения. Еженедельная эпидемиологическая справка [Электронный ресурс], 29 ноября 2019 г., вып. 94, 48, с.561–580. – URL: <http://www.euro.who.int/ru/health-topics/communicable-diseases/influenza/vaccination/influenza-vaccination-coverage-and-effectiveness> (дата обращения: 10.12.2019)
2. Всемирная организация здравоохранения. Корь в Европе: рекордное число заболевших и рекордные показатели иммунизации. – URL: <http://www.euro.who.int/ru/media-centre/sections/press-releases/2019/measles-in-europe-record-number-of-both-sick-and-immunized> (дата обращения: 10.12.2019)
3. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году». – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/798/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno-epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-rossiyskoy-federatsii-v-2018-godu.pdf> (дата обращения: 10.12.2019)
4. Межрегиональным управлением Роспотребнадзора по Республике Крым и г. Севастополю. О ситуации по заболеваемости ОРВИ и гриппом в Республике Крым и г. Севастополе на 47 неделе 2019 года (18.11.2019-24.11.2019). – URL: [http://82.rospotrebnadzor.ru/epidemiologic\\_situation/148033/print/](http://82.rospotrebnadzor.ru/epidemiologic_situation/148033/print/)
5. Союз педиатров России. – URL: <http://www.pediatr-russia.ru/content/vaktsinatsiya-eto-samaya-effektivnaya-profilakticheskaya-tehnologiya> (дата обращения: 10.12.2019)
6. Лынова Е.Н. Актуальные проблемы вакцинопрофилактики [Электронный ресурс] /Лынова Е.Н., Ильченко Г.В.// Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 4. – URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26618> (дата обращения: 10.12.2019)
7. Маркова Е.Н. Право на отказ от обязательной вакцинации в соответствии с религиозными убеждениями: pro et contra [Электронный ресурс] / Маркова Е.Н. // Государственная власть и местное самоуправление. – 2019 –№ 2– С. 3-9. – URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/179091375/> (дата обращения: 10.12.2019)
8. Мац. А.Н. Врачам об антипрививочном движении и его вымыслах в СМИ [Электронный ресурс]/А.Н. Мац// Вакцинация в современном мире – 2009 –№(6) – С. 12-35. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vracham-ob-antiprivivochnom-dvizhenii-i-ego-vymyslah-v-smi> (дата обращения: 10.12.2019)
9. Чернова Т.М. Причины нарушения графика вакцинации детей раннего возраста [Электронный ресурс]/Т.М. Чернова, В.Н. Тимченко, Н.А. Мыскина, М.А. Лапина, А.Е. Орехова// Педиатр–2019–Т. 10. Вып. 3 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prichiny-narusheniya-grafika-vaktsinatsii-detei-rannego-vozrasta> (дата обращения: 10.12.2019)
10. Шаханина И.Л. Концепция определения экономической эффективности вакцинопрофилактики [Электронный ресурс] / И.Л. Шаханина, А.А. Ясинский// Эпидемиология и Вакцинопрофилактика – 2010–№ 4 (53) – С. 74-80. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-opredeleniya-ekonomicheskoy-effektivnosti-vaktsinoprofilaktiki> (дата обращения: 10.12.2019)

## Список литературы на английском языке / References in English

1. World Health Organization. Weekly Epidemiological Note [Electronic resource], November 29, 2019, issue 94, 48 (pp. 561–580). – URL: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/communicable-diseases/influenza/vaccination/influenza-vaccination-coverage-and-effectiveness> (accessed: 10.12.2019)
2. World Health Organization. Measles in Europe: a record number of cases and record levels of immunization. – URL: <http://www.euro.who.int/en/media-centre/sections/press-releases/2019/measles-in-europe-record-number-of-both-sick-and-immunized> (accessed: 10.12.2019)
3. State report O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu [On state of sanitary and epidemiological well-being of population in the Russian Federation in 2018] – M: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being. – URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/798/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno-epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-rossiyskoy-federatsii-v-2018godu> (accessed: 10.12.2019) [in Russian]
4. Interregional Department of Rospotrebnadzor in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol. O situatsii po zabolevayemosti ORVI i grippom v Respublike Krym i g. Sevastopole na 47 nedele 2019 goda (18.11.2019-24.11.2019) [On situation with incidence of acute respiratory viral infections and influenza in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol at the 47th week of 2019 (11/18/2019 - 11/24/2019)]. – URL: [http://82.rospotrebnadzor.ru/epidemiologic\\_situation/148033/print/](http://82.rospotrebnadzor.ru/epidemiologic_situation/148033/print/) (accessed: 10.12.2019) [in Russian]
5. The Union of Pediatricians of Russia. – URL: <http://www.pediatr-russia.ru/content/vaktsinatsiya-eto-samaya-effektivnaya-profilakticheskaya-tehnologiya> (accessed: 10.12.2019) [in Russian]
6. Lynova E.N. Aktual'nyye problemy vaktsinoprofilaktiki [Topical problems of vaccine prevention] [Electronic resource] / Lynova E.N., Ilchenko G.V. // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. – 2017. – No. 4. – URL: <https://www.science-education.ru/en/article/view?id=26618> (accessed: 10.12.2019) [in Russian]
7. Markova E.N. Pravo na otkaz ot obyazatel'noy vaktsinatsii v sootvetstvii s religioznymi ubezhdeniyami: pro et contra [Right to refuse compulsory vaccination in accordance with religious beliefs: pro et contra] [Electronic resource] / Markova E.N. // Gosudarstvennaya vlast' i mestnoye samoupravleniye [State power and local government]. – 2019 – No. 2 – P. 3-9. – URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/179091375> (accessed: 10.12.2019) [in Russian]
8. Matz. A.N. Vracham ob antiprivivochnom dvizhenii i yego vymyslah v SMI [Doctors about anti-vaccination movement and its fiction in media] [Electronic resource] / A.N. Matz // Vaktsinatsiya v sovremennom mire [Vaccination in the modern world] – 2009 – No.6 (6) – P. 12-35. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vracham-ob-antiprivivochnom-dvizhenii-i-ego-vymyslah-v-smi> (accessed: 10.12.2019) [in Russian]
9. Chernova T.M. Prichiny narusheniya grafika vaktsinatsii detey rannego vozrasta [Reasons for violation of the vaccination schedule for young children] [Electronic resource] / T.M. Chernova, V.N. Timchenko, N.A. Myskina, M.A. Lapina, A.E. Orekhova // Pediatr [Pediatrician] – 2019 – V. 10. – Is. 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prichiny-narusheniya-grafika-vaktsinatsii-detei-rannego-vozrasta> (accessed: 10.12.2019) [in Russian]
10. Shakhaniina I.L. Kontseptsiya opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti vaktsinoprofilaktiki [Concept of determining cost-effectiveness of vaccine prevention] [Electronic resource] / I.L. Shakhaniina, A.A. Yasinsky // Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika [Epidemiology and Vaccine Prevention] – 2010 – No. 4 (53) – P. 74-80. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-opredeleniya-ekonomicheskoy-effektivnosti-vaktsinoprofilaktiki> (accessed: 10.12.2019) [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.015>

## ВЕГЕТАТИВНЫЙ ГОМЕОСТАЗ И ФИЗИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТУДЕНТОВ

Научная статья

**Корепанов А.Л.\***

Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

\* Корреспондирующий автор (akorepanov2006[at]rambler.ru)

### Аннотация

Проведено исследование физиометрических показателей и параметров variability сердечного ритма у 22 девушек, обучающихся в университете. Уровень физического развития девушек по антропометрическим показателям соответствовал нормативам, однако существенно отличался от данных, полученных в других регионах России. Установлено снижение адаптационного потенциала исследуемых, что подтверждается снижением силового индекса, уровня соматического здоровья, увеличением напряжения адаптационных механизмов. Показана возможность использования динамики корреляционных связей исследуемых показателей для оценки функциональных резервов организма обучающихся.

**Ключевые слова:** физическое развитие, девушки, адаптационный потенциал, variability сердечного ритма.

## VEGETATIVE HOMEOSTASIS AND PHYSIOMETRIC INDICATORS OF STUDENTS

Research article

**Korepanov A.L.\***

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

\* Corresponding author (akorepanov2006[at]rambler.ru)

### Abstract

The author has conducted the study of physiometric indicators and heart rate variability parameters in 22 girls studying at the university. According to the results, anthropometric indicators correspond to relative standards in terms of the level of physical development of girls; however, they significantly differed from the data obtained in other regions of Russia. The decrease in the adaptive potential of the studied persons was established, it is confirmed by a decrease in the power index, the level of somatic health, and the increase in the tension of adaptive mechanisms. The author shows the possibility of the use of the correlation relationships dynamics of the studied indicators to assess the functional reserves of the student's body.

**Keywords:** physical development, girls, adaptive potential, heart rate variability.

### Введение

Состояние здоровья студентов – показатель социально-экономического и общественного развития страны и важный индикатор трудового, экономического и оборонного потенциала общества. Одним из наиболее объективных критериев оценки состояния здоровья является уровень его физического развития. От уровня физического развития студента во многом зависит эффективность адаптации к обучению в вузе, познавательная активность и способность к обучению. Адаптационный потенциал не всегда обеспечивает адекватное реагирование на высокие психофизиологические нагрузки, что приводит к функциональным расстройствам и заболеваниям студентов [1]. В последние годы ухудшился уровень физического развития и здоровья молодежи, что ведет к увеличению заболеваемости, снижению успеваемости и социальной адаптивности студентов [2]. Выявлена отрицательная динамика функционального состояния и сократительной способности миокарда студентов в ходе обучения в университете [3].

Эффективным способом оценки адаптационного потенциала организма является анализ параметров variability сердечного ритма (ВСР), позволяющий определить характер и степень напряженности регуляторных механизмов, соотношение активности симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС), влияние автономного и центрального контуров управления ритмом сердца. Параметры ВСР отражают жизненно важные показатели управления физиологическими функциями организма их функциональные резервы [4].

Анализ литературных источников за последние 15 лет показывает, что физическое развитие и здоровье студентов изучены недостаточно. Наблюдается дефицит информации об антропометрических и физиометрических характеристиках физического развития, отсутствуют данные о взаимосвязи параметров физического развития и состояния вегетативного гомеостаза обучающихся.

Целью работы явилась оценка параметров физического развития и показателей variability сердечного ритма у девушек – студенток.

### Методы и принципы исследования

В исследовании приняли участие 22 здоровых девушки – студентки 2 курса направления подготовки «Психология». Исследования проводились в лаборатории психофизиологии Севастопольского государственного университета. Определяли физиометрические показатели и показатели variability сердечного ритма (ВСР). К физиометрическим показателям отнесли массу и длину тела, охват грудной клетки (ОГК), силу кисти (СК), жизненную емкость легких (ЖЕЛ), уровень соматического здоровья (УЗ), индекс Кетле (ИК). Массу, длину тела и ОГК определяли посредством стандартного инструментария. ЖЕЛ определяли посредством волюметра Medizintechnik (Германия). СК ведущей руки (СК) определяли кистевым динамометром ДРП – 120. ИК рассчитывали по формуле:  $ИК = \frac{Масса\ тела\ (кг)}{Длина\ тела\ (м)^2}$ . Систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление и ЧСС определяли в покое посредством электронного тонометра Nissei DS-130 (Япония). Определяли силовой индекс

(СИ=СК/масса тела\*100); жизненный индекс (ЖИ=ЖЕЛ/масса тела); индекс Робинсона, или двойное произведение (ДП=ЧСС\*САД)/100). По центильным шкалам оценивали гармоничность физического развития. Если значения массы и длины тела оказывались в одном или соседних центильных интервалах, то физическое развитие считали гармоничным, если значения выходили за границы соседнего интервала – дисгармоничным, если разница в оценке составляла более двух интервалов – резко дисгармоничным. УЗ определяли по методике Г.Л. Апанасенко [5]. Использовали параметры массы и длины тела, жизненной емкости легких, силы мышц кисти, ЧСС, САД, время восстановления ЧСС после 20 приседаний. Рассчитывали 5 индексов в баллах, и по их сумме определяли уровень соматического здоровья, который оценивали как низкий, если сумма баллов равнялась 2 и ниже, ниже среднего – от 3 до 5 баллов, средний – от 6 до 10 баллов, выше среднего – от 11 до 12 баллов, высокий – от 13 баллов и выше. В качестве нормативных показателей физического развития использовали одномерные центильные шкалы для оценки физического развития студентов, разработанные по результатам обследования 8450 студентов Нижнего Новгорода (2420 юношей и 6030 девушек) 17-25 лет [6].

Регистрация ЭКГ во II стандартном отведении и оценка вариабельности сердечного ритма проводилась в состоянии покоя и при проведении клиноортостатической пробы проводилась с использованием компьютерного многофункционального комплекса «Нейрон-Спектр-1» (фирма «Нейрософт», Россия). Определяли следующие временные показатели ВСР: мода (Мо); амплитуда моды (АМо); SDNN -стандартное отклонение величин NN-интервалов; RMSSD -квадратный корень средних квадратов разницы между смежными RR-интервалами; pNN50 - процент интервалов смежных NN, отличающихся более чем на 50 мс; CV -коэффициент вариации ряда последовательных кардиоинтервалов. Определяли следующие частотные показатели ВСР: TP - общая мощность спектра; HF – мощность высокочастотного компонента; LF –мощность низкочастотного компонента; VLF – мощность очень низкочастотного компонента. Индекс напряжения Баевского (ИН) определяли по формуле:  $ИН = АМо / (2 \times Мо \times \Delta X)$ . Исходный вегетативный тонус (ИВТ) определяли как сбалансированный при уровне ИН 30-90 усл. ед.; как ваготонию при уровне ИН меньше 30 усл. ед.; как симпатикотонию при уровне ИН 90-160 усл. ед.; как гиперсимпатикотонию при ИН больше 160 усл. ед. Вегетативную реактивность (ВР) определяли как отношение ИН в ортоположении к ИН в состоянии покоя. Выделяли нормальную (симпатикотоническую), гиперсимпатикотоническую и асимпатикотоническую ВР [7]. Уровень напряжения адаптационных механизмов оценивали по характеру распределения ВР в зависимости от исходного вегетативного тонуса. Выделяли лиц с оптимальными адаптивными способностями, с напряжением адаптационных механизмов, с перенапряжением адаптации и с неудовлетворительной адаптацией. Взаимосвязи физиометрических показателей и параметров вариабельности сердечного ритма выявлялись посредством корреляционного анализа с помощью ранговой корреляции Спирмена. Материалы статистически обрабатывали с помощью пакета программ STATISTICA for WINDOWS 6.0. [8]. Исследование выполнено на сертифицированном оборудовании с соблюдением следующих критериев исключения: наличие острых заболеваний, беременности, а также отказ от обследования. Исследование проводили с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609ЕС). От всех исследуемых было получено письменное информированное согласие на участие в исследовании, одобренное Этическим комитетом ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (протокол №2 от 27 июня 2019 г.).

### Основные результаты

Результаты определения физиометрических показателей и показателей вариабельности сердечного ритма представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физиометрические показатели и показатели вариабельности сердечного ритма исследуемой группы (n=22)

п/п	Физиометрические показатели		п/п	Показатель	Показатели вариабельности сердечного ритма	
	Показатель	Значение показателя			Значение показателя	
					Положение лежа	Положение стоя
1	Длина тела, см	169,4±5,8	1	ЧСС, мин-1	76±4	94±6*
2	Масса тела, кг	57,7±9,9	2	SDNN, мс	53,5±7,1	50±7,7
3	ОГК, см	78,5±9,1	3	RMSSD, мс	50,3±6,7	34,5±6,4*
4	СК, кг	19,5±6,2	4	CV, %с	6,8±0,8	7,6±1,1
5	СИ, усл. ед	35,8±3,2	5	pNN50,%	19,1±3,1	6,1±0,9*
6	ЖЕЛ, мл	3358±583	6	Мо, с	0,8±0,1	0,6±0,1
7	ЖИ, мл/кг	55,9±12,3	7	АМо, %	40,4±3,4	43,9±8,3
8	ДП, усл. ед	89,5±13	8	ИН, усл. ед.	68,9±9,8	106,1±11,2*
9	САД, мм рт. ст	114,5±15,2	9	VLF, мс²	755,7±83,5	782,1±117,4
10	ДАД, мм рт. ст.	69,6±10,5	10	LF, мс²	952,7±298,4	1272,6±311,7
11	ИК, усл. ед	20,2±3,1	11	HF, мс²	1021±97,2	570,5±104,7*
12	УЗ, баллы	3,5±0,6	12	ТП, мс²	2198±298,4	2063,4±392,6

Примечание: \* – различия достоверны ( $p < 0,05$ ) в сравнении с положением лежа.

Анализ физиометрических параметров показал соответствие нормативам большинства показателей физического развития девушек-студенток северо-западного университета. Отмечено снижение кистевого индекса на 8,4±0,7% в сравнении с нормой. Соматическое здоровье всей группы исследуемых оказалось ниже среднего уровня. Средний

уровень здоровья отмечался у 8 человек (36,3% исследуемых), высокий – у 2 человек (9,1% исследуемых), ниже среднего – у 11 человек (50% исследуемых), низкий – у 2 человек (9,1% исследуемых). Оценка гармоничности физического развития показала, что 15 девушек имеют гармоничное развитие, 4 – дисгармоничное и 3 – резко дисгармоничное физическое развитие. Сравнение основных полученных параметров физического развития с данными по другим регионам России выявило, что севавтопольские девушки имеют большую длину тела и меньшие показатели ОГК, чем их сверстницы из Новосибирска [9], Иркутска [10], Казани [11]. Различия в основных антропометрических показателях девушек из разных регионов подтверждают необходимость разработки и обновления региональных антропометрических стандартов.

Анализ ВСР показал, что все показатели исследуемой группы находятся в пределах нормальных величин [12]. При переходе в вертикальное положение наблюдалось увеличение ЧСС, ИН, снижение временных параметров и мощности высокочастотного компонента, что соответствует данным литературы [13] и отражает смещение вегетативного баланса в сторону симпатического звена регуляции. По показателю ИН выявлено 16 человек (72,7% исследуемых) со сбалансированным исходным вегетативным тонусом, 5 человек с симпатикотонией (22,7% исследуемых) и 1 человек (4,5% исследуемых) с ваготонией. Анализ уровня напряжения адаптационных механизмов по характеру распределения ВР в зависимости от исходного вегетативного тонуса выявил, что оптимальными адаптивными способностями обладают 13 человек (59,1% исследуемых), у 4 человек (18,2 % исследуемых) установлено напряжение адаптационных механизмов, у 4 – перенапряжение механизмов адаптации. Неудовлетворительная адаптация выявлена у 1 человека (4,5% исследуемых).

Корреляционные связи физиометрических показателей и параметров ВСР исследуемой группы представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (r) между физиометрическими показателями и параметрами ВСР в положении лежа

Показатели	Наименование											
	ОГК	Длина тела	Масса тела	ЖЕЛ	СК, кг	ЖИ, мл/кг	СИ	ДП, усл.ед.	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ИК, усл.ед.	УЗ, усл.ед.
ЧСС, мин-1	-0,01	-0,06	-0,07	-0,6	-0,15	-0,44*	-0,12	-0,31	0,15	0,27	-0,03	-0,10
SDNN, мс	-0,06	-0,21	-0,08	0,11	-0,08	0,05	-0,08	0,27	0,09	0,16	0,03	0,43*
RMSSD, мс	-0,11	0,02	0,03	0,21	-0,2	0,09	-0,23	0,38	0,01	0,07	0,03	0,29
pNN50,%	-0,13	-0,49*	-0,2	0,01	-0,19	-0,04	-0,14	0,17	-0,29	-0,15	0,02	0,31
CV, мс	-0,04	-0,16	-0,08	-0,1	-0,07	-0,12	-0,07	0,12	0,15	0,24	0,01	0,37
Мо, с	0,03	0,37	0,08	0,37	0,19	0,29	0,12	0,65*	0,5	0,33	-0,08	0,02
АМо, %	0,28	0,29	0,32	0,12	0,1	0,02	-0,00	0,19	0,20	0,11	0,20	-0,50
ИН, усл. ед.	-0,01	0,30	0,20	0,46*	0,15	0,33	0,03	0,40	0,22	0,1	0,08	0,01
VLF, мс <sup>2</sup>	-0,1	0,12	-0,05	-0,1	-0,3	-0,13	-0,28	0,36	0,44*	0,55	-0,12	-0,00
LF, мс <sup>2</sup>	0,08	-0,03	0,09	0,16	0,34	0,03	0,25	0,08	0,05	0,05	0,14	0,30
HF, мс <sup>2</sup>	-0,05	-0,18	-0,05	0,28	-0,19	0,20	-0,22	0,39	0,22	0,17	0,05	0,30
LF/HF, усл.ед.	0,04	0,00	0,05	0,02	0,41*	0,04	0,42*	-0,34	-0,23	-0,17	0,05	0,22
ТП, мс <sup>2</sup>	0,02	-0,43*	-0,28	-0,20	-0,17	-0,21	-0,05	0,33	0,07	0,32	-0,09	0,10

Примечание: \* – значимые корреляционные зависимости ( $p < 0,05$ ).

Видно, что в состоянии покоя выявлены значимые связи между ЖЕЛ и ЧСС, ЖЕЛ и ИН, ЖИ и ЧСС, что отражает влияние уровня напряжения регуляторных механизмов на функциональное состояние кардиореспираторной системы организма и указывает на общность регуляторных воздействий вегетативной нервной системы на сердце и дыхательную систему. Значимые связи между VLF и значениями артериального давления подтверждает наличие гормональных и метаболических влияний на работу сердца. Связь между ДП и Мо отражает значимое парасимпатическое влияние вегетативной нервной системы на функциональные резервы сердечной мышцы.

Таблица 3 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (г) между физиометрическими показателями и параметрами ВСР в положении стоя

Показатели	Наименование											
	ОГК	Длина тела	Масса тела	ЖЕЛ	СК, кг	ЖИ, мл/кг	СИ	ДП, усл.ед.	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ИК, усл.ед.	УЗ, усл.ед.
ЧСС, мин-1	-0,01	-0,06	-0,07	-0,6	-0,15	-0,44*	-0,12	-0,31	0,15	0,27	-0,03	-0,10
SDNN, мс	-0,06	-0,21	-0,08	0,11	-0,08	0,05	-0,08	0,27	0,09	0,16	0,03	0,43*
RMSSD, мс	-0,11	0,02	0,03	0,21	-0,2	0,09	-0,23	0,38	0,01	0,07	0,03	0,29
pNN50, %	-0,13	-0,49*	-0,2	0,01	-0,19	-0,04	-0,14	0,17	-0,29	-0,15	0,02	0,31
CV, мс	-0,04	-0,16	-0,08	-0,1	-0,07	-0,12	-0,07	0,12	0,15	0,24	0,01	0,37
Мо, с	0,03	0,37	0,08	0,37	0,19	0,29	0,12	0,65*	0,5	0,33	-0,08	0,02
АМо, %	0,28	0,29	0,32	0,12	0,1	0,02	-0,00	0,19	0,20	0,11	0,20	-0,50
ИН, усл.ед.	-0,01	0,30	0,20	0,46*	0,15	0,33	0,03	0,40	0,22	0,1	0,08	0,01
VLF, мс <sup>2</sup>	-0,1	0,12	-0,05	-0,1	-0,3	-0,13	-0,28	0,36	0,44*	0,55	-0,12	-0,00
LF, мс <sup>2</sup>	0,08	-0,03	0,09	0,16	0,34	0,03	0,25	0,08	0,05	0,05	0,14	0,30
HF, мс <sup>2</sup>	-0,05	-0,18	-0,05	0,28	-0,19	0,20	-0,22	0,39	0,22	0,17	0,05	0,30
LF/HF, усл.ед.	0,04	0,00	0,05	0,02	0,41*	0,04	0,42*	-0,34	-0,23	-0,17	0,05	0,22
ТП, мс <sup>2</sup>	0,02	-0,43*	-0,28	-0,20	-0,17	-0,21	-0,05	0,33	0,07	0,32	-0,09	0,10

Примечание: \* – значимые корреляционные зависимости ( $p < 0,05$ ).

В ортоположении количество межсистемных корреляционных связей значительно возрастает, что подтверждает увеличение уровня межсистемной интеграции, повышение напряжения функционирования организма и включение адапционно-компенсаторных реакций. Среди физиометрических наиболее чувствительными оказались показатели дыхательной системы – ЖЕЛ и ЖИ, у которых в ортоположении зарегистрировано 9 и 10 значимых корреляционных связей с параметрами ВСР соответственно, а также СК и СИ (7 и 3 значимых связи соответственно). Среди параметров вегетативного гомеостаза выделены Мо, АМо и pNN50, у которых выявлено 5 (Мо), 4 (АМо) и 3 (pNN50) значимых корреляционных связей с физиометрическими показателями. Большое количество достоверных корреляций в ортоположении между показателями вегетативной регуляции сердечного ритма и внешнего дыхания свидетельствует о единых механизмах обеспечения адапционных процессов сердечно – сосудистой и дыхательной систем и согласуется с данными о функциональных взаимосвязях между дыхательным и сердечно-сосудистым центрами с возможностью иррадиации возбуждения [14]. Показано [15], что система с относительно автономными связями в силу независимости ее элементов отличается большей пластичностью, что облегчает адапционные процессы. Центральные регуляторные механизмы в покое характеризуются большим числом степеней свободы, увеличение которых способствует достижению функционального оптимума при реализации адапционных процессов [15].

Уменьшение числа связей между элементами функциональной системы увеличивает число «степеней свободы» этих элементов, что способствует достижению оптимального функционального состояния [16]. Поэтому описанная в нашем исследовании динамика и характер корреляционных связей при переходе из состояния покоя в ортоположение, отражающая механизмы адапционных перестроек функциональных систем организма, может использоваться для оценки функциональных резервов и эффективности механизмами регуляции функций организма в комплексе с оценкой физического развития и вегетативного гомеостаза.

### Заключение

Установлено, что антропометрические показатели девушек – студенток Севастополя в целом соответствуют нормативным величинам, но достоверно различаются от показателей физического развития в ряде регионов России, что подтверждает необходимость использования региональных стандартов. Высокий процент девушек с дисгармоничным развитием (каждая третья девушка) и низкие показатели функционального состояния организма (силового индекса и уровня соматического здоровья) говорят о недостаточных адапционных резервах организма девушек. Низкие функциональные возможности подтверждаются и при анализе показателей вегетативного гомеостаза: в исследуемой группе выявлено 40% лиц с напряжением и перенапряжением адапционных механизмов. Анализ корреляционных взаимосвязей физиометрических показателей и параметров ВСР в покое и при ортопробе продемонстрировал возможность использования динамики и характера корреляционных связей для оценки функциональных резервов и эффективности вегетативной регуляции функций организма в комплексе с оценкой физического развития и вегетативного гомеостаза.

Полученные данные будут использованы при разработке методик оценки адапционных резервов обучающихся и программ медико – педагогической коррекции их функционального состояния.

**Финансирование**

Исследование выполнено при финансовой поддержке внутреннего гранта Севастопольского государственного университета № 520/06-31.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Funding**

The study was supported by an internal grant of Sevastopol State University No. 520 / 06-31.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Функциональное состояние студентов при умственной нагрузке / Э.С. Геворкян и др. // Гигиена и санитария. – 2005. – № 5. – С. 55-57.
2. Здоровье студентов: социологический анализ / Отв. ред. И.В.Журавлева; Институт социологии РАН. – М., 2012. – 252 с.
3. Корепанов А.Л. Функциональные показатели деятельности сердца у мальчиков-подростков и юношей г. Севастополя / А.Л. Корепанов и др. // Теория и практика физической культуры. – 2018. – № 7. – С. 53-55.
4. Баевский Р.М. Проблемы изучения variability сердечного ритма в космической медицине / Р.М. Баевский, В.М. Баранов, Й. Танк // Variability сердечного ритма: материалы IV всерос. симпозиума / Удмуртский гос. ун-т. – Ижевск, 2008. – С. 24-27.
5. Апанасенко Г.Л., Попова Л.А. Медицинская валеология / Серия «Гиппократ». – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 248с.
6. Михайлова С.В. Региональные особенности физического развития студентов Нижегородской области / С.В.Михайлова и др. // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 12 [Электронный ресурс].
7. Белоконов Н. А. Болезни сердца и сосудов у детей/ Н.А.Белоконов, М.Б. Кубергер // Руководство для врачей в 2 томах. – Т.1. – М.: Медицина, 1987. – С. 94 – 99.
8. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О.Ю. Реброва. – М.:МедиаСфера, 2002. – 312с.
9. Климов В.М. Оценка физического здоровья выпускников школ, поступающих в вузы/ В.М. Климов, Р.И. Айзман // Бюллетень сибирской медицины. –2016. – 15(3) – С.41–47.
10. Мануева Р. С. Физическое развитие детей и подростков. Показатели. Методы оценки : учебное пособие / Р. С. Мануева // ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, Кафедра общей гигиены. – Иркутск : ИГМУ, 2018. – 52 с.
11. Зиятдинов А.И. Разработка стандартов физического развития студентов - медиков на основе исторически сложившихся традиций в регионе / А.И.Зиятдинов, Э.Н. Мингазова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.
12. Баевский Р. М. Анализ variability сердечного ритма: история и философия, теория и практика/ Р.М. Баевский // Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. - №1. – С.54 – 64.
13. Михайлов В.М. Variability ритма сердца. Опыт практического применения метода/ В.М. Михайлов. – Иваново: Иванов. гос. мед. акад., 2000. – 200 с.
14. Покровский В.М. Сердечно- дыхательный синхронизм в оценке регуляторно-адаптивных возможностей организма / В.М. Покровский. –Краснодар : Кубань Книга, 2010. – 224с.
15. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 265с.
16. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / П.К.Анохин // Принципы системной организации функций. –М.:Наука, 1973. – С. 5-61.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Funktsional'noye sostoyaniye studentov pri umstvennoy nagruzke [The functional state of students with mental stress]/ E.S. Gevorkyan, S.N. Minasyan, N.N. Ksazhikyan, A.V. Dayan // Gigiyena i sanitariya [Hygiene and sanitation]. – 2005. – № 5. – P. 55-57. [in Russian]
2. Zdorov'ye studentov: sotsiologicheskiy analiz [Student health: sociological analysis ]/ Ch. ed. I.V.Zhuravleva; Institut sotsiologii RAN. – М., 2012. – 252 p. [in Russian]
3. Korepanov A.L. Funktsional'nyye pokazateli deyatelnosti serdtsa u mal'chikov-podrostkov i yunoshey g. Sevastopolya [Functional indicators of heart activity in adolescent boys and youths of Sevastopol] / A.L. Korepanov, O.N. Golovko, I.YU. Vasilenko, S.Ye. Motornaya // Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury [Theory and practice of physical culture]. – 2018. – № 7. – P. 53-55. [in Russian]
4. Bayevskiy R.M. Problemy izucheniya variabel'nosti serdechnogo ritma v kosmicheskoy meditsine [Problems of studying heart rate variability in space medicine ] / R.M. Bayevskiy, V.M. Baranov, Y. Tank // Variabel'nost' serdechnogo ritma: materialy IV vseros. Simpoziuma [Heart Rate Variability: Proceedings of IV All-Russia. Symposium] / Udmurtskiy gos. un-t. – Izhevsk, 2008. – P. 24-27. [in Russian]
5. Apanasenko G.L. Meditsinskaya valeologiya [Medical Valeology]/ G.L. Apanasenko, L.A. Popova // Seriya «Gippokrat» [Hippocrates Series]. - Rostov n/D.: Feniks, 2000. – 248p. [in Russian]
6. Mikhaylova S.V. Regional'nyye osobennosti fizicheskogo razvitiya studentov Nizhegorodskoy oblasti [Regional features of the physical development of students in the Nizhny Novgorod region] / S.V. Mikhaylova, YU.G. Kuzmichev, N.V. Zhulin, T.V.Khrycheva // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii [Modern Scientific Research and Innovation]. - 2016. - №12. [in Russian]
7. Belokon' N. A. Bolezni serdtsa i sosudov u detey [Diseases of the heart and blood vessels in children] / N.A.Belokon', M.B. Kuberger // Rukovodstvo dlya vrachey v 2 tomakh [Manual for doctors in 2 volumes]. – Vol.1. – М.: Meditsina, 1987. – P. 94 – 99. [in Russian]

8. Rebrova O.YU. Statisticheskiy analiz meditsinskih dannykh. Primeneniye paketa prikladnykh programm STATISTICA [Statistical analysis of medical data. Application of the STATISTICA]/O.YU. Rebrova .- M.: MediaSfera, 2002. – 312p. [in Russian]
9. Klimov V.M. Otsenka fizicheskogo zdorov'ya vypusnikov shkol, postupayushchikh v vuzy [Assessment of the physical health of school graduates entering universities] / V.M.Klimov, R.I. Ayzman //Byulleten' sibirskoy meditsiny [Bulletin of Siberian medicine]. – 2016 - 15(3) – P.41–47. [in Russian]
10. Manuyeva R. S. Fizicheskoye razvitiye detey i podrostkov. Pokazateli. Metody otsenki : uchebnoye posobiye [Physical development of children and adolescents. Indicators. Evaluation Methods: Textbook] / R. S. Manuyeva // FGBOU VO IGMU Minzdrava Rossii, Kafedra obshchey gigiyeny. – Irkutsk : IGMU, 2018. – 52 p. [in Russian]
11. Ziatdinov A.I. Razrabotka standartov fizicheskogo razvitiya studentov - medikov na osnove istoricheski slozhivshikhsya traditsiy v regione [Development of standards for the physical development of medical students based on historically established traditions in the region] / A.I.Ziatdinov, E.N. Mingazova // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. – 2013. – № 6. [in Russian]
12. Bayevskiy R. M. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma: istoriya i filosofiya, teoriya i praktika [Analysis of heart rate variability: history and philosophy, theory and practice]/ R.M. Bayevskiy // Klinicheskaya informatika i telemeditsina [Clinical computer science and telemedicine]. – 2004. - №1. – P.54 – 64. [in Russian]
13. Mikhaylov V.M. Variabel'nost' ritma serdtsa. Opyt prakticheskogo primeneniya metoda [Heart rate variability. Experience in the practical application of the method] / V.M. Mikhaylov. - Ivanovo: Ivanov. gos. med. akad., 2000. - 200p. [in Russian]
14. Pokrovskiy V.M. Serdechno-dykhatel'nyy sinkhronizm v otsenke regul'yatorno-adaptivnykh vozmozhnostey organizma [Cardio-respiratory synchronism in the assessment of regulatory and adaptive capabilities of the body]/ V.M. Pokrovskiy. – Krasnodar : Kuban' Kniga, 2010. – 224p. [in Russian]
15. Bayevskiy R.M. Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostey organizma i risk razvitiya zabolevaniy [Assessment of the adaptive capabilities of the body and the risk of developing diseases]/ R.M. Bayevskiy, A.P. Berseneva – M.: Meditsina, 1997. – 265p. [in Russian]
16. Anokhin P.K. Printsipial'nyye voprosy obshchey teorii funktsional'nykh sistem [Fundamental questions of the general theory of functional systems] / P.K. Anokhin // Printsipy sistemnoy organizatsii funktsiy [Principles of the systemic organization of functions]. – M.:Nauka, 1973. - P. 5-61. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.016>

## АНАЛИЗ ОШИБОК ПЕРВИЧНОГО ЭНДОДОНТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ЗУБОВ С ХРОНИЧЕСКИМ ПЕРИОДОНТИТОМ

Обзор

Бердиева Р.Р.<sup>1</sup>, Мамытова А.Б.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Кыргызско-Российского Славянского Университета, Бишкек, Киргизия

Корреспондирующий автор (info[at]aspirans.info)

### Аннотация

Авторами приведен литературный обзор о необходимости повторного эндодонтического лечения зубов с хроническим периодонтитом: особенностями анатомии корневой системы, ятрогенными ошибками, ошибками связанные выбором силеров для obturation корневой системы. Описаны устойчивость первичной и вторичной микрофлоры, а также создающих биопленку не позволяющих добиться асептических условий в каналах зубов.

**Ключевые слова:** хронический периодонтит, повторное эндодонтическое лечение зубов, *Enterococcus faecalis*, перфорация корня зуба, силеры.

## ERROR ANALYSIS OF PRIMARY ENDODONTIC DENTISTRY WITH CHRONIC PERIODONTITIS

Review

Berdieva R.R.<sup>1</sup>, Mamytova A.B.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyzstan

Corresponding author (info[at]aspirans.info)

### Abstract

The authors provide a literature review on the need for repeated endodontic treatment of teeth with chronic periodontitis: features of the anatomy of the root system, iatrogenic errors, errors associated with the selection of sealers for obturation of a root system. The stability of the primary and secondary microflora, as well as creating a biofilm that does not allow achieving aseptic conditions in the channels of the teeth are described in this work.

**Keywords:** chronic periodontitis, repeated endodontic dentistry, *Enterococcus faecalis*, perforation of a tooth root, sealers.

### Актуальность

По данным Европейской ассоциации эндодонтологии, частота успеха первой эндодонтической попытки составляет 80 %, по данным Американской эндодонтической ассоциации - от 53 до 80 %, иногда - 95 % [1], [2], [4]. По данным российских исследований, эта цифра составляет 29 % [4], [5]. Многочисленные исследования [1], [2], [5] по изучению топографических особенностей корневых каналов указывают на наличие сложных, разветвленных и взаимосвязанных коллатералей системы корневого канала, которые трудно предсказать и, соответственно, качественно механически обработать и тем более запломбировать [10]. Основной причиной неблагоприятного исхода эндодонтического лечения является отсутствие адекватного удаления некротизированных тканей из системы корневого канала [5], [6], [7]. Вероятность неблагоприятного исхода возрастает в случае присоединения негерметичной изоляции корневого канала со стороны верхушки зуба и со стороны коронки, неполной obturation каналов корневыми герметиками или лечебными пастами, значительного выведения пломбировочного материала за апикальное от-верстие. А также, последние исследования указывают на то, что причиной развития периапикальной патологии после ранее проведенного эндодонтического лечения может явиться коронковое микроподтекание [7], [8], [9]. Известно, что коронковое микроподтекание наблюдается в целом ряде случаев.

### Ошибки эндодонтического лечения связанные с устойчивостью микрофлоры каналов зубов с хроническим периодонтитом

Основной причиной апикального периодонтита считаются микроорганизмы, колонизирующие в системе корневых каналов. Микрофлора, локализованная в перешейках, ответвлениях основного канала, апикальных разветвлениях, неровностях стенки канала и дентинных канальцах, может выживать, несмотря на самую качественную химико-механическую обработку и obturation. Инфекционное поражение периапикальных тканей зависит от вирулентности и количества микроорганизмов, сохранившихся в системе корневых каналов, либо попавших в нее в результате вторичного инфицирования, а также от способности микроорганизмов выживать в условиях дефицита питательных веществ.

Первичная, или исходная инфекция, вызванная микроорганизмами, колонизирующими в некротизированной пульпе. Первичная инфекция обычно представлена грамотрицательными анаэробными бактериями [8], [9]. При этом в каналах изолируют более 200 видов микроорганизмов. Микрофлора неадекватно препарированных и obturated каналов схожа с микрофлорой необработанных каналов, поскольку представлена оставшейся первичной инфекцией [10]. Вторичная инфекция представлена микроорганизмами, которые ввели в корневую систему во время эндодонтических процедур, возможно, во время лечения, между приемами или даже после пломбирования корневого канала [10]. Вторичная инфекция обычно представлена узким спектром микроорганизмов, чаще грамположительными факультативными анаэробами, которые отсутствуют в составе первичной инфекции или оказались устойчивы к внутрикорневой дезинфекции и реколонизировали пространство канала. В частности, *Enterococcus faecalis* редко обнаруживается в составе первичной микрофлоры, но является наиболее распространенным микроорганизмом при неудаче первичного эндодонтического лечения выделяется в 24-77% случаев [3]. Высокая распространенность

*Enterococcus faecalis* при вторичной инфекции объясняется рядом факторов, в том числе способностью этого микроорганизма прикрепляться к дентину и проникать в дентинные каналы, выживать в течении длительного времени в условиях дефицита питательных веществ, развиваться самостоятельно без синергии с другими бактериями. Кроме того, этот вид характеризуется устойчивостью к защитным механизмам организма, генетическим полиморфизмом и возможностью формировать биопленку. Штаммы *Enterococcus faecalis* исключительно устойчивы к различным антимикробным агентам, применяемым при эндодонтическом лечении, в том числе к гидроксиду кальция, а также к неблагоприятному изменению pH вплоть до 11,5. Эта бактерия считается потенциальным патогеном при персистирующей апикальной патологии, а элиминировать ее из системы корневых каналов очень сложно. Стойкая инфекция представлена микроорганизмами, которые остались после первичного лечения или вторичного инфицирования корневого канала. При любых обстоятельствах, если внесенным микроорганизмам из полости рта в корневую систему зуба удастся адаптироваться к новой среде, выживая и размножаясь, образуется вторичная инфекция. Различные виды микроорганизмов связаны с тем, что могут быть пероральными или нет, в зависимости от источника вторичной инфекции. Как стойкая, так и вторичная инфекции могут быть причиной нескольких клинических проблем, в том числе постоянная экссудация, выраженные клинические симптомы, обострения, безуспешность эндодонтического лечения, что характерно для повторного эндодонтического лечения зубов с хроническим периодонтитом. Наличие бактерий на стадии пломбирования корневых каналов после повторного эндодонтического лечения. Качественное повторное эндодонтическое лечение все еще не может полностью устранить бактерии из инфицированного корневого канала. Потому что стойкие бактерии либо устойчивы, либо недоступны для лечебных процедур. Какой бы ни была причина их стойкости, разнообразие бактерий и плотность существенно снижаются после лечения. Большинство исследований по этому вопросу четко выявили, что, когда бактерии сопротивляются лечебным процедурам, грамположительные бактерии присутствуют чаще. Это поддерживает идею, что грамположительные бактерии могут быть более устойчивыми к противомикробному лечению меры и способность бактерий адаптироваться к неблагоприятным условиям окружающей среды во время эндодонтического лечения каналов зубов. Бактерии, сохраняющиеся в корневом канале после химико-механических процедур не всегда будут поддерживать инфекционный процесс. Это утверждение подтверждается данными о том, что некоторые очаги апикального периодонтита регенерировали даже после того, когда бактерии были обнаружены в канале на стадии пломбирования. Есть некоторые возможные объяснения:

1. Остаточные бактерии могут погибнуть после пломбирования из-за токсичности материалов, отсутствия доступа к питательным веществам.

2. Остаточные бактерии могут быть в малом количестве и низкой вирулентности для поддержания периапикального воспаления.

3. Остаточные бактерии остаются в местах, где нет доступа к периапикальным тканям. В таких случаях очень важна резистентность организма к инфекции является вероятностью, решающим противодействующим фактором.

#### **Ошибки при первичном эндодонтическом лечении, связанные с особенностями анатомии каналов зубов**

Наиболее частой ошибкой эндодонтического лечения является необнаруженные основные каналы или апикальные ответвления. Успех повторного эндодонтического лечения невозможен без доскональных знаний анатомических характеристик зуба.

#### **Передняя группа зубов верхней и нижней челюсти**

Передние зубы верхней челюсти редко имеют больше чем 1 канал. Обычно два и более каналов встречаются при наличии сросшихся зубов, срастании со сверхкомплектными зубами или инвагинаций зубов, особенно боковых резцов. Приблизительно в 40% случаев, по другим авторам до 50% нижние резцы имеют два корневых канала, в то время как два апикальных отверстия встречаются лишь в 1% случаев. Более того, заметное уплощение корня в медиально-дистальном направлении и продолжающееся в течение всей жизни зуба отложение дентина могут привести к раздвоению основного канала. В клыках нижней челюсти два канала встречаются относительно редко – около 10% случаев. Более 20% всех фронтальных зубов и 50% боковых зубов имеют многочисленные ответвления.

#### **Премоляры верхней и нижней челюсти**

В большинстве случаев в 41 зубе первые премоляры верхней челюсти имеют два канала - 84% и 58% - верхних вторых премоляров имеют второй корневой канал, вне зависимости от наличия одного или двух корней. Более того, 8% первых премоляров имеют 3 и более основных ответвлений. Нижние премоляры имеют наиболее сложную систему корневых каналов. В исследованиях обнаружили два основных ответвления в 31% первых премоляров и в 11% вторых премоляров, а в 3% случаев встречался третий основной канал. Вторичные и третичные ответвления в виде латеральных или дополнительных каналов являются веточками основного канала, которые открываются в периодонт.

#### **Моляры верхней и нижней челюсти**

Моляры верхней челюсти обычно имеют три корня и четыре канала. Верхний первый моляр согласно исследованиям *in vitro* имеет два канала в 60% случаев в медиальном щечном корне, при рассмотрении под микроскопом – в 95% случаев. Моляры нижней челюсти имеют два корня. В дистальном корне нижнего первого моляра часто встречается (30-50% случаев) имеется 2 канала. Согласно Pindea, Kuttler (1972), при этом в 13% случаев тип II конфигурации каналов, а в 14%- IV. Отдельно следует отметить возможность в медиальном корне наличие третьего (среднего медиального) канала, который обнаруживают в 3-17% случаев. В нижнем втором моляре в медиальном корне в 58% случаях имеется либо один канал, либо два канала типа II или IV приблизительно 21% случаев. В дистальном корне практически всегда имеется один канал [более 94%]. Уникальной является С-образная форма корневого канала, которая впервые была описана в 1979г. и встречалась в 8% случаев, по другим авторам 22%-37% чаще в нижних вторых молярах. Однако С-образную форму могут иметь нижние первые моляры, премоляры и верхние премоляры.



## **Ошибки первичного эндодонтического лечения при хроническом периодонтите связанные с ятрогенными факторами**

К наиболее распространенным ятрогенным осложнениям, ставшим следствием эндодонтического лечения, относятся изменение естественной траектории корневого канала в виде формирования неправильного ступенчатого уступа, избыточное пломбирование и перфорации корня. Все это затрудняет санацию и дезинфекцию каналов, а также их пломбирование, что приводит к неудаче терапии и необходимости эндодонтической ревизии.

### **Формирование ступенчатого уступа**

Такое осложнение является одним из самых распространенным при препарировании каналов. К образованию уступа в процессе первичного эндодонтического лечения приводят следующие факторы:

1. Неоптимальный доступ к апикальному отверстию с сохранением коронковых препятствий;
2. Агрессивная инструментальная обработка при неправильном выборе методик и инструментов;
3. Неправильное определение рабочей длины, особенно при наличии сильно изогнутых и суженных каналов.

Кроме того, необходимо отметить, что попытки удаления имеющегося пломбировочного материала также могут привести к отклонению от естественной траектории канала. Это особенно актуально при значительном уплотнении гуттаперчи вместе с герметиком, наличии металлических обломков файлов или серебряных штифтов. По данным Jafarzadeh и Abbott (2007), ступенчатые уступы встречаются в 25-52% случаев проведения эндодонтического лечения.

### **Перфорации корня зубов**

Перфорации корня при проведении эндодонтического лечения является одним из наиболее грозных ятрогенных осложнений. К развитию перфораций на разных участках зуба также могут приводить некоторые патологические состояния, в том числе: наружная апикальная резорбция, внутренняя резорбция, глубокий кариес. Эти осложнения встречаются в 10% случаев неудач эндодонтического лечения. Наиболее важными факторами, определяющими клиническое значение перфораций, являются размер и локализация дефекта, а также наличие или отсутствие контаминации в области поражения. Указанные факторы непосредственно влияют на выбор протокола лечения и прогноз зуба.

### **Избыточное пломбирование корневого канала**

Впервые проблему выведения пломбировочного материала описал Strindberg (1956), а затем изучили Halse Molven (1987). Систематический обзор литературы показал, что об избыточном пломбировании говорят в случаях, когда пломбировочный материал выступает в периапикальные ткани на 2мм или больше относительно рентгенологического апекса. В ряде случаев в результате эндодонтического лечения некоторые используемые материалы выводятся за пределы апикального отверстия, что вызывает реакцию организма на инородное тело и способствует сохранению периапикального поражения. Крупные фрагменты гуттаперчевых штифтов обычно хорошо переносятся тканями организма и подвергаются инкапсуляции коллагеном, а вот мелкие частицы этого материала вызывают выраженную местную реакцию организма с привлечением большого количества макрофагов и гигантских клеток. Аналогичные изменения наблюдаются при выведении за апикальное отверстие силеров и солей кальция, которые высвобождаются из повязок на основе гидроксида кальция. Попадание указанных материалов в периапикальные ткани замедляет заживление и часто ведет к неудаче эндодонтического лечения. Другие специалисты, считают, что само по себе наличие пломбировочного материала в периапикальных тканях не ведет к неудаче эндодонтического лечения. Такие противоречивые мнения могут быть связаны с разной методологией исследований и большим химическим разнообразием использованных материалов. Контакт пломбировочного материала с периапикальными тканями при избыточном пломбировании активно обсуждается специалистами, а влияние этого состояния на заживление требует тщательного изучения.

## **Ошибки первичного эндодонтического лечения при хроническом периодонтите, обусловленные выбором постоянных силеров для пломбирования каналов зубов**

Очень важно иметь точное представление о степени неблагоприятного воздействия разных пломбировочных материалов и реакции на них тканей, которых зависит от цитотоксичности, антигенного эффекта, объема выведенного материала и иммунного ответа организма. Гистологическое исследование образцов, полученных в ходе апикальной хирургии и включавших в себя апикальную часть корня зуба с прилегающими тканями, показало, что ни один пломбировочный материал не является инертным. Все пломбировочные материалы, согласно литературе, можно разделить по следующим признакам:

- Токсичные – вызывают выраженное воспаление и или некроз тканей;
- Биосовместимые (биологически неактивные) – инкапсулируются со-единительной тканью;
- Биологически активные – способствуют или не препятствуют заживлению костной ткани.

Вероятность неблагоприятного исхода возрастает в случае негерметичной изоляции корневого канала со стороны верхушки зуба и со стороны коронки, неполной obturation каналов корневыми герметиками или лечебными пастами, значительного выведения пломбировочного материала за апикальное отверстие. Последние исследования указывают на то, что причиной развития периапикальной патологии после ранее проведенного эндодонтического лечения может явиться коронковое микроподтекание. Наиболее распространенная ситуация – это эндолеченные зубы с разрушенными коронками, в результате чего гуттаперча корневого канала приходит в прямой контакт с ротовой полостью. В исследованиях выявлено, что уже через 20-90 дней бак-териальные клетки проникают через корневой канал в периапикальные ткани, несмотря на качественную obturation канала гуттаперчей. Такой разброс значений объясняется разными переменными в проведенных исследованиях, в том числе методикой инструментальной обработки, степенью изгиба корневого канала, его локализацией, типом корня и квалификацией оператора. Наиболее значимым фактором риска создания ступенчатого уступа является кривизна канала: чем она сильнее, тем выше риск отклонения при препарировании.

К настоящему времени предложено много различных пломбировочных систем и, как следствие, способов пломбирования, но наибольшее распространение в практике получил способ латеральной конденсации гуттаперчи,

как сочетание простоты и эффективности применения. Однако по последним данным, несмотря на все попытки осуществления механической адгезии, остаются достаточно значительные щели после пломбирования (до 10 мкм), служащие причиной развития вторичного кариеса и рассасывания корневой пломбы.

Повторное эндодонтическое лечение зубов с ранее неэффективно проведенным лечением существенно ухудшает благоприятный прогноз, который не превышает 67%, в то время как при первичном эндодонтическом вмешательстве достигает 90%. По литературным данным, при рентгенологическом обследовании зубов, леченых по поводу периодонтита, более чем в 50% отмечено некачественное пломбирование каналов. Воспалительные процессы в периодонте встречаются довольно часто, составляя 45-52% в структуре стоматологической помощи по обращаемости, что диктует необходимость постоянного совершенствования эндодонтических методов их лечения, а при использовании резорцин-формалинового метода в каналах зубов, запломбированных не до верхушки корня, деструктивные изменения в костной ткани выявлены более чем в 80% случаев. Также нужно отметить, что неудовлетворительное качество эндодонтического лечения связано не только с плохими мануальными навыками, но и с отсутствием качественного инструментария и материалов, неумением правильно использовать их. Таким образом, новых методов лечения деструктивных форм хронического периодонтита, которые позволили бы ускорить сроки регенерации периапикальных тканей и предотвратить осложнения является актуальным. В отечественной и зарубежной литературе недостаточно работ, посвященных сравнительной оценке методов эндодонтического лечения каналов зубов, ранее запломбированных резорцин-формалиновой «ZnOE» пастами. Это делает актуальным изучение перечисленных выше вопросов.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Гутман Д.Л.. Решение проблем в эн-додонтии: Профилактика, диагностика и лечение / Джеймс Л. Гутман, Том С. Думша, Пол Э. Ловдэл // Пер. с англ. – М.
2. Зуолу М.Л. Повторное эндодонтическое лечение / Мария Луис Зуолу, Даниэль Керлакян, Мария Кристина Коуэлью де Карвалью. – 2016.
3. Пиванкова, Н. Н. Моделирование микробной биоплёнки корневого канала / Н. Н. Пиванкова, О. В. Тонко // Актуальные вопросы профилактики, диагностики и лечения стоматологических заболеваний: сб. науч. тр. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 20-летию 2-й каф. тер. стоматологии УО «Белорус. гос. мед. ун-т» и юбилею проф. Леуса П. А., Минск, 18 мая 2018 г. / под общ. ред. Т. Н. Манак, Л. Г. Борисенко. – Минск: БГМУ, 2018. – С.124-126.
4. Gutmann J.L. Problem Solving en Endodontics. Prevention, identi-fication and management / Gutmann J.L., Lovdahl P.E. 5th edition, Elsevier mosby, 2011.
5. Hashem A.A.R. The effect of acidity on dislodgement resistance of mineral trioxide aggregate and bioaggregate in furcation perforations: an in vitro compar-ative study / Hashem A.A.R. – J Endod., 38(2): 245-249, 2012.
6. Hargreaves K.M. Cohen's Pathways of the Pulp / Hargreaves K.M., Cohen S., Berman L.H. 10th edition, Mosby Elsevier, 2010.
7. Zhou H.M. Physical properties of 5 root canal sealers / H.M. Zhou, Y. Shen, W. Zheng et al. // Journal of Endodontics, vol. 39, no. 10, pp. 1281–1286, 2013.
8. Zhang H. Antibacterial activity of en-dodontic sealers by modified direct contact test against Enterococcus faecalis / H. Zhang, Y. Shen, N. D. Ruse et al. // Journal of Endodontics, vol. 35, no. 7, pp. 1051–1055, 2009.
9. Kenneth M. Hargreaves COHEN'S PATHWAYS OF THE PULP / Kenneth M. Hargreaves, Stephen Cohen, Louis H. Berman. Tenth Edition, 2000.
10. Torabinejad M. II:Inflammatory and immunological aspects of the pathogenesis of human periapical lesions / Torabinejad M., W.C. Naidorf. – J Endodont 11:479, 1985.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Gutman J.L. Resheniye problem v endodontii: Profilaktika, diagnostika i lecheniye [Problem Solving in Endodontics: Prevention, Diagnosis and Treatment] / James L. Gutman, Tom S. Dumsha, Paul E. Lovedal. // Trans. from English - M. [in Russian]
2. Zuolu M.L. Povtornoje endodonticheskoye lecheniye [Re-endodontic treatment] / Zuolu M.L., Daniel Kerlakyan, Maria Cristina Cowell de Carvalho. – 2016 [in Russian]
3. Pivankova N.N. Modelirovanie mikrobnoj bioplyonki kornevogo kanala [Root canal microbial biofilm modeling] / N. N. Pivankova, O. V. Tonko // Aktual'nye voprosy profilaktiki, diagnostiki i lecheniya stomatologicheskikh zabojevanij [Actual issues of prevention, diagnosis and treatment of dental diseases]: sb. nauch. tr. Rесп. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 20-letiyu 2-j kaf. ter. stomatologii UO «Belorus. gos. med. un-t» i yubileyu prof. Leusa P. A., Minsk, 18 maya 2018 g. / edit. T. N. Manak, L. G. Borisenko. – Minsk: BGMU, 2018. – P.124-126.
4. Gutmann J.L. Problem Solving en Endodontics. Prevention, identi-fication and management / Gutmann J.L., Lovdahl P.E. 5th edition, Elsevier mosby, 2011.
5. Hashem A.A.R. The effect of acidity on dislodgement resistance of mineral trioxide aggregate and bioaggregate in furcation perforations: an in vitro compar-ative study / Hashem A.A.R. – J Endod., 38(2): 245-249, 2012.
6. Hargreaves K.M. Cohen's Pathways of the Pulp / Hargreaves K.M., Cohen S., Berman L.H. 10th edition, Mosby Elsevier, 2010.
7. Zhou H.M. Physical properties of 5 root canal sealers / H.M. Zhou, Y. Shen, W. Zheng et al. // Journal of Endodontics, vol. 39, no. 10, pp. 1281–1286, 2013.
8. Zhang H. Antibacterial activity of en-dodontic sealers by modified direct contact test against Enterococcus faecalis / H. Zhang, Y. Shen, N. D. Ruse et al. // Journal of Endodontics, vol. 35, no. 7, pp. 1051–1055, 2009.
9. Kenneth M. Hargreaves COHEN'S PATHWAYS OF THE PULP / Kenneth M. Hargreaves, Stephen Cohen, Louis H. Berman. Tenth Edition, 2000.
10. Torabinejad M. II:Inflammatory and immunological aspects of the pathogenesis of human periapical lesions / Torabinejad M., W.C. Naidorf. – J Endodont 11:479, 1985.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.017>

## ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНИ ЖЕЛУДКА И ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНОЙ КИШКИ В ИСТОРИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

Научная статья

**Чечулин Е.С.\***

Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

\* Корреспондирующий автор (evgenii\_chechulin[at]mail.ru)

### Аннотация

Лечение пациентов с язвенной болезнью желудка и двенадцатиперстной кишки является актуальной проблемой современной медицины. Несмотря на достижения фармакотерапии не происходит существенное уменьшение числа больных с осложнениями в виде кровотечений и прободений. При снижении числа плановых операций при язвенной болезни, количество неотложных хирургических вмешательств стабильно остается на одном уровне и даже возрастает. В статье приведены сведения о тенденциях в лечении язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Отражена эволюция взглядов, направленных на изыскание причин патологии и методов ее устранения. В данном обзоре рассмотрены современные представления об этиологии язвенной болезни и актуальные вопросы ее терапии.

**Ключевые слова:** язвенная болезнь, антисекреторные препараты, ваготомия, эрадикация.

## TREATMENT METHODS OF GASTRIC AND DUODENUM ULCER DISEASE – HISTORICAL ASPECT

Research article

**Chechulin E.S.\***

Tyumen State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Tyumen, Russia

\* Corresponding author (evgenii\_chechulin[at]mail.ru)

### Abstract

Treatment of patients with gastric and duodenum ulcer disease is an urgent problem of modern medicine. Despite the achievements of pharmacotherapy, there is no significant decrease in the number of patients with complications such as bleeding and perforation. With a decrease in the number of planned operations for gastric and duodenum ulcer, the number of urgent surgical interventions stably remains at the same level and even increases. The paper provides information on trends in the treatment of gastric and duodenum ulcer. The evolution of views aimed at finding the causes of pathology and methods for its elimination is presented in this work. This review discusses current ideas about the etiology of gastric ulcer and topical issues of its therapy.

**Keywords:** gastric ulcer, antisecretory drugs, vagotomy, eradication.

Язвенная болезнь (ЯБ) – хроническое рецидивирующее заболевание, характеризующееся чередованием периодов обострения и ремиссии. При данной патологии образуются дефекты (язвы) в стенке желудка и двенадцатиперстной кишки (ДПК). Отличие от эрозивных изменений слизистой, язва поражает кроме слизистой оболочки еще и подслизистый слой [16].

ЯБ желудка и ДПК – одна из самых распространенных патологий внутренних органов и встречается у 10-15% населения земного шара. По данным Министерства здравоохранения РФ на учете с ЯБ состоит около 3 млн пациентов, из них каждый десятый был оперирован. Среди причин инвалидизации заболевания пищеварительной системы занимают пятое место, причем к стойкой утрате трудоспособности более чем в 50% из них приводит язвенная болезнь [2], [12].

Представления о патогенезе ЯБ и принципах лечения прошли длительный путь. В 1952 году К.М. Быков и И.Т. Курцын предложили кортико-висцеральную теорию развития болезни. Согласно данному учению травмирующие факторы вызывают возникновение стойкого очага возбуждения в центральной нервной системе, что опосредует повышение тонуса блуждающего нерва, увеличение секреции соляной кислоты и ферментов, усиление моторики, и нарушение трофики тканей желудка и ДПК. В связи с этим при лечении ЯБ активно стали применяться препараты, действие которых направлено на нервную систему, устранение чувства страха, тревоги, что вело к устранению вегетативной дисфункции [1], [8], [9]. Положительным моментом теории Быкова-Курцына является доказательство влияния стресса на внутренние органы, однако механизм образования язв был не выяснен.

Следующий этап является более радикальным – хирургическое лечение ЯБ. Первую в истории резекцию желудка выполнил в 1881 году Т. Бильрот по поводу рака привратника. При этом сохранялась непрерывность ЖКТ путем сшивания культи желудка с ДПК. Данная операция получила название резекция желудка по Бильрот-I. Уже в 1885 году хирург произвел резекцию, которая включала в себя дальнейшее создание гастроэнтероанастомоза на переднюю стенку оставшегося органа по типу бок в бок. Анастомоз создавался путем проведения петли тощей кишки к культе желудка позади поперечной ободочной кишки через отверстие в брыжейке [3], [12], [13].

Однако до второй четверти XX века основными хирургическими методами лечения ЯБ являлись гастроэнтероанастомоз и пилоропластика. Это было связано с высокой послеоперационной летальностью после проведения резекции желудка. Притом появились данные о развитии у 20-40% пациентов постгастрорезекционных осложнений – демпинг-синдрома [7], [12], [13].

В 1881 году Т. Вольфлер предложил методику формирования гастроэнтероанастомоза с передней желудочной стенкой, а в 1885 В. Гаккер произвел подобную операцию на задней стенке желудка. В. Гейнеке и И. Микучич в 1886-

1888 годах предложили дренирование антрального отдела желудка путем ликвидации замыкательной функции привратника. Технология получила название пилоропластика. По мере увеличения количества произведенных операций стали появляться сведения о развитии после формирования желудочно-кишечного анастомоза пептических язв.

В основе другого направления хирургического лечения ЯБ лежит теория К. Шварца: «нет кислоты – нет язвы». Хирургическому воззрению способствовали открытия в области физиологии пищеварения, сделанные И.П. Павловым. Эти работы показали решающую роль вагуса в стимуляции секреции желудочного сока [8], [15].

В январе 1943 года американский хирург Л. Драгстед впервые произвел поддиафрагмальную перерезку блуждающего нерва у пациента с активной диафрагмальной язвой. Это привело к развитию нового направления в лечении ЯБ, и начиная с 1946 года данная операция нашла широкое применение в клинике. В 1967 году Ф. Холл и У. Хат разработали и внедрили технологии селективной ваготомии. Операция была направлена на денервацию основной массы париетальных клеток, при этом сохранялась нормальная физиология нижележащих отделов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Д. Джонсон, А. Вилкинсон и Е. Амдруп, Н. Дженсон (независимо) разработали в 1970 году технологию селективной проксимальной ваготомии, при которой осуществляется парасимпатическая денервация только кислотопродуцирующих зон желудка. Первоначально заявлялось о рецидивировании язвы только у 5% пациентов, однако в дальнейшем частота рецидивов возросла до 50%. Притом у многих больных развивался постваготомический синдром, заключающийся в нарушении эвакуации желудочного содержимого. С целью его предотвращения ваготомии следовало дополнять дренирующими операциями. С 1993 года после конференции в школе медицины Йельского университета пересечение блуждающего нерва не рассматривается как метод выбора в лечении пептической язвенной болезни [8], [16].

Постулат «нет кислоты – нет язвы» лег и в основу консервативного лечения ЯБ. Первые терапевтические подходы были направлены на нейтрализацию кислого содержимого желудка щелочными компонентами – антацидами. Использовались доступные средства, такие как пищевая сода, молоко, они способствовали уменьшению изжоги, болевых ощущений. Данный факт наиболее ярко выражается в диете Сиппи, однако, после применения подобного лечения у 10-15% пациентов наблюдалось развитие молочно-щелочного синдрома, проявляющегося в нарушении мочеотделения вследствие развития мочекаменной болезни. Впоследствии в практику была внедрена новая обширная группа антацидов, активными компонентами которых являются алюминий и магний. Данные препараты не устраняли причину ЯБ, однако уменьшали симптомы и несколько способствовали заживлению. В настоящее время антациды также широко используются, что обусловлено быстротой их эффекта, адсорбирующими и протективными свойствами [1], [10].

Для снижения секреции желудочного сока также применяли периферические М-холиноблокаторы – атропина сульфат, платифиллина гидротартрат и другие. Однако при их применении возникает много побочных эффектов: сухость кожи и слизистых оболочек, обстипация, затруднение мочеиспускания, тахикардия. В связи с этим возникла необходимость в разработке селективного холиноблокатора. Так был синтезирован пирензепин – блокатор М1-холинорецепторов на уровне интрамуральных ганглиев. Препарат угнетает базальную и стимулированную секрецию соляной кислоты и пипсиногена желудочными железами, при этом он оказывает гастроцитопротективное действие на слизистую. Применение пирензепина приводит к быстрому купированию болевого синдрома, изжоги, ускорению рубцевания язвенных поражений [2], [6], [14].

В начале XX века исследователи Г. Дейл и Д. Баргер выделили неизвестное биологически активное вещество, получившее в дальнейшем название гистамин. В дальнейшем Дейл обнаружил, что при введении гистамина животным происходит усиление секреции желудочного сока, а это в свою очередь способствует развитию ЯБ. В 1936 году Г. Дейл был удостоен Нобелевской премии за открытие, связанное с химической передачей нервных импульсов [17].

Однако потребовалось много времени, чтобы в 1972 году шотландский фармаколог Д. Блэк обнаружил способность соединения буримаид действовать на рецепторы желудка, которые впоследствии были идентифицированы как H<sub>2</sub>-гистаминовые рецепторы. За это открытие ученый был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине. Открытие противоязвенной активности блокаторов H<sub>2</sub>-гистаминовых рецепторов привело к созданию целого ряда препаратов, нашедших широкое применение в гастроэнтерологии. Ранитидин, фамотидин и другие препараты с подобным фармакологическим действием стали «золотым стандартом» лечения ЯБ [16], [18].

Почти одновременно с антагонистами гистаминовых рецепторов получили применение другие противоязвенные средства – ингибиторы протонного насоса клеток желудка, первым из которых был омепразол. Препараты этой группы оказывают антисекреторное действие, ингибируя H<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> – АТФ-азу париетальных клеток слизистой оболочки, что приводит к снижению выхода ионов водорода в полость органа и к блокаде секреции соляной кислоты. Ингибиторы протонного насоса являются основными средствами при лечении кислотозависимых заболеваний верхних отделов ЖКТ [11], [19].

Несмотря на активное применение препаратов патогенетической терапии в клинике нашли место и другие лекарственные средства. Аналоги простагландина E<sub>2</sub> уменьшает секрецию соляной кислоты и желудочного сока, стимулирует секрецию бикарбонатов, оказывает цитопротекторное действие. Также применяются средства, стимулирующие репаративные процессы и повышающие защитные свойства слизистой оболочки желудка и ДПК.

В связи с открытием в 1983 году Б. Маршаллом и Р. Уорреном нового вида бактерий – *Helicobacter pylori* (HP) – изменились мнения, касающиеся патогенеза ЯБ. В результате проведения многочисленных исследований была выявлена ведущая роль HP в возникновении и рецидивировании ЯБ. Возник новый постулат – «без кислоты и HP нет язвы». Это привело к созданию обновленной классификации ЯБ. Теперь в нее помимо локализации, стадии заболевания, уровня желудочной секреции включается еще одна характеристика – наличие или отсутствие HP. Таким образом существует язвенная болезнь ассоциированная и не ассоциированная с данным микробом.

В конце XX и начале XXI века начались детальные исследования НР. Окончательное признание инфекционной теории патогенеза настало после присуждения Б. Маршаллу и Р. Уоррену в 2005 году Нобелевской премии за открытие агента и разработку новых терапевтических методик в лечении ЯБ. В 1996 году на основании накопленных результатов международная Европейская рабочая группа по изучению НР, организованная в 1987 году, сформировала рекомендации по диагностике инфекционного агента и лечению пациентов, инфицированных этим микроорганизмом. Обобщающий документ получил название «Консенсус Маастрихт-1» - по названию города, где состоялось совещание рабочей группы. На совещании приняли решения, касающиеся новых подходов в лечении ЯБ. Обязательным условием лечения является устранение НБ. К 2000 году были накоплены новые сведения о роли микроорганизма в развитии ЯБ, о его строении, а следовательно были внесены коррективы в схемы эрадикационной терапии, которые нашли отражения в «Консенсусе Маастрихт-2». Изучение НР продолжается и в настоящее время, в октябре 2016 года в журнале «Gut» был опубликован новый консенсус - пятый. В документе обращено внимание на факт, что хеликобактерный гастрит также считается инфекционным заболеванием. Показаны современные подходы к диагностике хеликобактериоза, отдельно разработаны подходы к эрадикационной терапии. Также в консенсусе сделан акцент на зависимость современных схем лечения от резистентности НР к ключевым антибиотикам [20], [21], [22].

Резистентность микроорганизма к антибиотикам определяет новую проблему, препятствующую успешному лечению ЯБ. В прогнозировании эффективности антихеликобактерной терапии у конкретного пациента стоит учитывать, с одной стороны, ситуацию резистентности в данном географическом регионе, с другой - анамнез использования ранее антибиотиков. Если пациент недавно принимал данный антибиотик для лечения какого-либо заболевания, существует риск резистентности НР к лекарственному средству. В большей степени это касается кларитромицина, метронидазола, левофлоксацина и не относится к амоксициллину и тетрациклину.

Маастрихтский консенсус рекомендует при низкой (<15%) резистентности к кларитромицину использовать стандартную тройную терапию (ингибитор протонного насоса + кларитромицин + амоксициллин) или висмутсодержащую квадротерапию (ингибитор протонного насоса + метронидазол + тетрациклин + висмута трикалия дицитрат). При высокой (>15%) двойной резистентности к кларитромицину и метронидазолу консенсус рекомендует использовать висмутсодержащую квадротерапию. При высокой к кларитромицину и низкой двойной к кларитромицину и метронидазолу рекомендуется применение висмутсодержащей квадротерапии или безвисмутной квадротерапии (ингибитор протонного насоса + амоксициллин + кларитромицин + метронидазол). В случае если повышена резистентность к кларитромицину и низкая к метронидазолу следует прибегнуть к тройной терапии [17].

Начиная с XIX века физиологами, хирургами, гастроэнтерологами, биохимиками, фармакологами, микробиологами проводилось изучение этиологии, патогенеза и лечения ЯБ. В настоящее время язва желудка и ДПК представляет заболевание, излечимое консервативными методами с использованием антисекреторных и антибактериальных препаратов.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Абдулхаков, Р.А. Современные принципы лечения язвенной болезни/ Р.А. Абдулхаков// Казанский медицинский журнал. – 2002. – №3. – С. 233-235.
2. Авакимян, В.А. Язвенная болезнь (вопросы патогенеза)/ В.А. Авакимян// Кубанский научный медицинский вестник. – 2007. – №4. – С. 12-18.
3. Баратов, И.Ш. Результаты резекции желудка по Бильрот-1 при язвенном пилородуоденальном стенозе [Электронный ресурс]/ И.Ш. Баратов, А.С. Азимов, А.Х. Алиев, М.А. Кахаров, А.Х. Гуломов// Вестник Здоровья и образования в XXI веке. - Электрон. журн. - 2006. №2. – URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 20.12.2019)
4. Ведерников, В.Е. Диагностика и новые способы лечения эрозий и язв желудка/ В.Е. Ведерников, В.Н. Новиков, Е.А. Бачева, Ю.А. Захарова, Л.И. Сурлякова, В.А. Нечисляев// Пермский медицинский журнал. – 2013. – №6. – С. 27-31.
5. Дехнич, Н.Н. Ингибиторы протонной помпы в терапии кислотозависимых заболеваний/ Н.Н. Дехнич// Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2011. – №1. – С. 21-24.
6. Жернакова, Н.И. Современные подходы к консервативной терапии язвенной болезни/ Н.И. Жернакова, Д.С. Медведев, А. Пожарский// Научные ведомости. – 2010. – №16. – С. 23-32.
7. Жигаев, Г.Ф. К вопросу о хирургическом лечении осложненных пилородуоденальных и дуоденальных язв/ Г.Ф. Жигаев, Е.В. Кривигина, Е.Ю. Лудупова// Acta Biomedica Scientifica. – 2010. – №2. – С. 70-71.
8. Ивашкин, В.Т. Школа клинициста. Язвенная болезнь - история медицины/ В.Т. Ивашкин// Медицинский вестник. – 2006. – №19. – С. 9-10.
9. Колотилова, М.Л. Неврогенно-генетическая теория этиологии и патогенеза язвенной болезни/ М.Л. Колотилова, И.Н. Иванов// Вестник Российской академии медицинских наук. – 2014. – №7-8.
10. Кривигина, Е.В. Консервативное лечение язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки/ Е.В. Кривигина, Г.Ф. Жигаев// Acta Biomedica Scientifica. – 2011. – №1-2.
11. Лазебник, Л.Б. Использование ингибиторов протонной помпы для лечения кислотозависимых заболеваний/ Л.Б. Лазебник, Е.Д. Ли, О.М. Михеева// Архив внутренней медицины. – 2013. – №3. – С. 20-24.
12. Оноприев, В.И. Хирургия язвенной болезни на распустье/ В.И. Оноприев, С.Э. Восканян// Кубанский научный медицинский вестник. – 2006. – №7-8.
13. Оробей, Ю.А. Острые поражения слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки: лечение и профилактика/ Ю.А. Оробей// Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2010. – №11. – С. 72-77.
14. Пиманов, С.И. Лечение гастродуоденальных язв с позиции терапевта/ С.И. Пиманов, Е.В. Макаренко// Новости хирургии. – 2009. – №1. – С. 88-96.
15. Совалкин, В.И. Лечение язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки в историческом аспекте/ В.И. Совалкин, Л.М. Смирнова, Г.Р. Бикбаева, Э.Г. Аглиуллина, Н.С. Кокухина// Архив внутренней медицины. – 2012. – №6. – С. 62-67.

16. Совалкин, В.И. Язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки: история взглядов на патогенез и лечение/ В.И. Савалкин, Г.Р. Биквазова, Л.М. Смирнова, Н.С. Кокухина// Омский научный вестник. – 2013. – №2. – С. 54-58.
17. Степанов, Ю.М. Маастрихтский консенсус-5: аналитический обзор положений/ Ю.М. Степанов, И.Я. Будзак// Гастроэнтерология. – 2017. – №1. – С. 36-45.
18. Циммерман, Я.С. Язвенная болезнь: актуальные проблемы этиологии, патогенеза, дифференцированного лечения/ Я.С. Циммерман// Клиническая медицина. – 2012. – №8. – С. 11-18.
19. Щербаков, П.Л. Ингибиторы протонной помпы в гастроэнтерологии/ П.Л. Щербаков// Лечебное дело. – 2012. – №4. – С. 47-52.
20. Atherton, J. C. Coadaptation of *Helicobacter pylori* and humans: ancient history, modern implications / J. C. Atherton, M. J. Blaser // The Journal of Clinical Investigation. – 2009. – № 119 (9). – P. 2475–2487.
21. Malfertheiner, P. Management of *Helicobacter pylori* infection – the Maastricht IV / P. Malfertheiner, F. Megraud, C. O'Morain // Florence Consensus Report Gut. – 2012. – № 61. – P. 646–664.
22. Marshall, B. J. *Helicobacter* pioneers: Firsthand Accounts from the Scientists who Discovered *Helicobacters* 1892–1982 / B.J. Marshall // Blackwell Publishing. – 2002. – 222 p.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Abdulkhakov, R.A. Sovremennyye printsipy lecheniya yavzvennoy bolezni [Modern principles of gastric ulcer treatment] / R.A. Abdulkhakov // Kazan Medical Journal. – 2002. – No. 3. – P. 233-235. [in Russian]
2. Avakimyan, V.A. Yazvennaya bolezni' (voprosy patogeneza) [Gastric ulcer (pathogenesis issues)] / V.A. Avakimyan // Kuban Scientific Medical Bulletin. – 2007. – No. 4. – P. 12-18. [in Russian]
3. Baratov, I.Sh. Rezul'taty rezektsii zheludka po Bill'rot-1 pri yazvennom piloroduodenal'nom stenozе [Results of stomach resection according to Billroth-1 with ulcerative pyloroduodenal stenosis [Electronic resource] / I.Sh. Baratov, A.S. Azimov, A.Kh. Aliev, M.A. Kakharov, A.Kh. Gulomov // tnk Zdorov'ya i obrazovaniya v 21 veke. [Bulletin of Health and Education in the XXI century]. – Electr. Resource – 2006. No. 2. – access mode: <https://cyberleninka.ru>. [in Russian]
4. Vedernikov, V.E. Diagnostika i novyye sposoby lecheniya eroziy i yazv zheludka [Diagnosis and new methods of treating erosion and gastric ulcers] / V.E. Vedernikov, V.N. Novikov, E.A. Bacheva, Yu.A. Zakharova, L.I. Surlyakova, V.A. Nechislyayev // Perm Medical Journal. – 2013. – No. 6. – P. 20-31. [in Russian]
5. Dehnich, N.N. Ingibitory protonnoy pompy v terapii kislotozavisimyykh zabolevaniy [Proton pump inhibitors in treatment of acid-dependent diseases] / N.N. Dehnich // Bulletin of the Smolensk State Medical Academy. – 2011. – No. 1. – P. 21-24. [in Russian]
6. Zhernakova, N.I. Sovremennyye podkhody k konservativnoy terapii yazvennoy bolezni [Modern approaches to conservative therapy of gastric ulcer] / N.I. Zhernakova, D.S. Medvedev, A. Pozharskis // Nauchnyye vedomosti [Scientific reports]. – 2010. – No. 16. – P. 23-32. [in Russian]
7. Zhigayev, G.F. K voprosu o khirurgicheskom lechenii oslozhnennykh piloroduodenal'nykh i duodenal'nykh yazv [On surgical treatment of complicated pyloroduodenal and duodenal ulcers] / G.F. Zhigayev, E.V. Krivigina, E.Yu. Ludupova // Acta Biomedica Scientifica. – 2010. – No. 2. – P. 70-71. [in Russian]
8. Ivashkin, V.T. Shkola klinitsista. Yavzvennaya bolezni' - istoriya meditsiny [Clinician School. Gastric ulcer – history of medicine] / V.T. Ivashkin // [Medical Bulletin]. – 2006. – No. 19. – P. 9-10. [in Russian]
9. Kolotilova, M.L. Nevrogenno-geneticheskaya teoriya etiologii i patogeneza yazvennoy bolezni [Neurogenic-genetic theory of etiology and pathogenesis of gastric ulcer] / M.L. Kolotilova, I.N. Ivanov // Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences]. – 2014. – No. 7-8. [in Russian]
10. Krivigina, E.V. Konservativnoye lecheniye yazvennoy bolezni zheludka i dvenadtsatiperstnoy kishki [Conservative treatment of gastric ulcer of stomach and duodenum] / E.V. Krivigina, G.F. Zhigayev // Acta Biomedica Scientifica. – 2011. – No. 1-2. [in Russian]
11. Lazebnik, L.B. Ispol'zovaniye ingibitorov protonnoy pompy dlya lecheniya kislotozavisimyykh zabolevaniy [Use of proton pump inhibitors for the treatment of acid-dependent diseases] / L.B. Lazebnik, E.D. Lee, O.M. Mikheeva // Arkhiv" vnutrenney meditsiny [Archive of internal medicine] – 2013. – No. 3. – P. 20-24. [in Russian]
12. Onopriev, V.I. Khirurgiya yazvennoy bolezni na rasput'ye [Surgery of gastric ulcer at a crossroads] / V.I. Onopriev, S.E. Voskanyan // Kubanskiy nauchnyy meditsinskiy vestnik [Kuban Scientific Medical Bulletin]. – 2006. – No. 7-8. [in Russian]
13. Orobey, Yu.A. Ostrye porazheniya slizistoy obolochki zheludka i dvenadtsatiperstnoy kishki: lecheniye i profilaktika [Acute lesions of mucous membrane of stomach and duodenum: treatment and prevention] / Yu.A. Orobey // Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya [Experimental and clinical gastroenterology]. – 2010. – No. 11. – P. 72-77. [in Russian]
14. Pimanov, S.I. Lecheniye gastroduodenal'nykh yazv s pozitsii terapevta [Treatment of gastroduodenal ulcers from the perspective of therapist] / S.I. Pimanov, E.V. Makarenko // Novosti khirurgii [News of surgery]. – 2009. – No. 1. – P. 88-96. [in Russian]
15. Sovalkin, V.I. Lecheniye yazvennoy bolezni zheludka i dvenadtsatiperstnoy kishki v istoricheskom aspekte [Treatment of gastric and duodenum ulcer in historical aspect] / V.I. Sovalkin, L.M. Smirnova, G.R. Bikavova, E.G. Agliullina, N.S. Kokukhina // Arkhiv" vnutrenney meditsiny [Archive of internal medicine]. – 2012. – No. 6. – P. 62-67. [in Russian]
16. Sovalkin, V.I. Yazvennaya bolezni' zheludka i dvenadtsatiperstnoy kishki: istoriya vzglyadov na patogeneza i lecheniye [Gastric and duodenum ulcer: history of views on pathogenesis and treatment] / V.I. Sovalkin, G.R. Bikavova, L.M. Smirnova, N.S. Kokukhina // Omsk Scientific Herald. – 2013. – No. 2. – P. 54-58. [in Russian]
17. Stepanov, Yu.M. Maastrikhtskiy konsensus-5: analiticheskiy obkhor polozheniy [Maastricht consensus-5: analytical review of provisions] / Yu.M. Stepanov, I.Ya. Budzak // Gastroenterology. – 2017. – No. 1. – P. 36-45. [in Russian]
18. Zimmerman, Ya.S. Yazvennaya bolezni': aktual'nyye problemy etiologii, patogeneza, differentsirovannogo lecheniya [Gastric ulcer: actual problems of etiology, pathogenesis, differentiated treatment] / Ya.S. Zimmerman // Klinicheskaya meditsina [Clinical Medicine]. – 2012. – No. 8. – S. 11-18.
19. Shcherbakov, P.L. Ingibitory protonnoy pompy v gastroenterologii [Proton pump inhibitors in gastroenterology] / P.L. Shcherbakov // Lechebnoye delo [Medical care]. – 2012. – No. 4. – P. 47-52. [in Russian]
20. Atherton, J. C. Coadaptation of *Helicobacter pylori* and humans: ancient history, modern implications / J. C. Atherton, M. J. Blaser // The Journal of Clinical Investigation. – 2009. – № 119 (9). – P. 2475–2487.
21. Malfertheiner, P. Management of *Helicobacter pylori* infection – the Maastricht IV / P. Malfertheiner, F. Megraud, C. O'Morain // Florence Consensus Report Gut. – 2012. – № 61. – P. 646–664.
22. Marshall, B. J. *Helicobacter* pioneers: Firsthand Accounts from the Scientists who Discovered *Helicobacters* 1892–1982 / B.J. Marshall // Blackwell Publishing. – 2002. – 222 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.018>**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ «ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ» В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Научная статья

Гусев Е.М.\*

ORCID: 0000-0003-3886-2143;

Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (sowaso[at]yandex.ru)

**Аннотация**

На основе теории диссипативных систем показано, что эволюция диссипативных структур на Земле, к которым относятся в том числе и живые организмы, и надорганизменные системы, на современном этапе голоцена подчиняется принципу минимума производства энтропии И. Пригожина, при действии которого человечество находится в ситуации необходимости и неизбежности рационального использования доступных ему ресурсов. Поэтому за последние десятилетия сформировалась так называемая «зелёная экономика» – направление в экономической науке, в рамках которого экономика выступает зависимым компонентом природной среды, в пределах которой она существует и является ее частью. Показано, что в разных регионах планеты в области сельского хозяйства и связанного с ним сектора водного хозяйства расширяется использование «зелёного земледелия», в значительной мере компенсирующего растущие вызовы продовольственной и водной безопасности населения. При этом его фундаментом служат ресурсосберегающие природоподобные (nature-based) технологии использования человеком природных ресурсов. В качестве иллюстрации к полученным теоретическим выводам продемонстрировано, что минимальная обработка почвы с мульчированием ее поверхности пожнивными остатками (являющаяся элементом "зеленой экономика" в земледелии) может рассматриваться в качестве наиболее перспективной агротехнологии при стратегическом планировании развития зернового земледелия в районах степного Крыма.

**Ключевые слова:** принцип Циглера, принцип Пригожина, зелёное земледелие, no-till технологии, мульчирование.

**OUTLOOKS FOR USE OF GREEN ECONOMY PRINCIPLES IN AGRICULTURE**

Research article

Gusev E.M.\*

ORCID: 0000-0003-3886-2143;

Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* Corresponding author (sowaso[at]yandex.ru)

**Abstract**

Based on the theory of dissipative systems, it is shown that the evolution of dissipative structures on Earth, which include living organisms and superorganism systems, at the present stage of the Holocene goes under the principle of minimum entropy production by I. Prigogine, under the action of which mankind is in a situation of the need and the inevitability of rational use of the available resources. Therefore, in recent decades, the so-called "green economy" has emerged – a direction in economic science, within which the economy acts as a dependent component of the natural environment within which it exists and is a part of it. It was shown that the use of "green farming" is expanding in different regions of the planet in the field of agriculture and the related water sector, which largely compensates for the growing challenges to food and water security of the population. At the same time, resource-saving nature-based technologies for human use of natural resources are its foundation. As an illustration of the theoretical findings, it was demonstrated that minimal tillage with mulching of its surface with crop residues (which is an element of the green economy in agriculture) can be considered as the most promising agricultural technology for strategic planning of the development of grain farming in the steppe Crimea.

**Keywords:** Ziegler principle, Prigogine principle, green farming, no-till technology, mulching.

**Введение**

Резкое ухудшение состояния окружающей среды, вызванное ускорившимся в последние десятилетия потреблением человеческим сообществом природных ресурсов, сказалась и на безопасности существования самого человека на Земле. Начиная с эпохи шумеров мир постепенно превращался в антропогенную, часто называемую «серой» [1], [2], инфраструктуру использования природных ресурсов и управления ими. В настоящее время проблемы экологической безопасности усугубляются многогранными последствиями изменения климата в различных областях взаимодействия человека с окружающей средой. Ухудшения состояния наземных экосистем является основной причиной роста проблем, связанных с управлением и использованием самых различных природных ресурсов планеты. Сказанное относится ко всем сферам хозяйственной деятельности человека, включая сельское и водное хозяйства. Хотя около 30% территории суши остается покрытой лесом, по крайней мере две трети этой территории находятся в деградированном состоянии [3]. В частности, состояние большинства почвенных ресурсов сельскохозяйственных угодий оценивается как посредственное, плохое или очень плохое, а нынешние оценки прогнозируют его дальнейшее ухудшение, что окажет серьезное негативное воздействие на круговорот воды в природе в результате роста интенсивности испарения, уменьшения запасов почвенных вод и увеличения склонового стока, сопровождаемого усилением эрозии [3].

Поэтому и в сельском хозяйстве, и в связанном с ним секторе водного хозяйства необходимы новые технологии использования природных ресурсов, уменьшающие отрицательное воздействие человека на окружающую среду. Эти технологии должны быть направлены на поддержание здоровых экосистем, что напрямую ведет к повышению экологической безопасности для всех организмов планеты, включая и человека.

В литературе (ряд работ приведен в [4]), многочисленных программных документах международных организаций [3], [5], на различных международных конференциях и симпозиумах (например, на XII Международном форуме «Зеленая экономика», проходившем 21-23 Мая 2018 г. в С.-Петербурге [6]) все чаще обсуждается необходимость перехода в различных областях человеческой деятельности от традиционных так называемых "серых" технологий управления природными ресурсами, жестко ориентированным только на сиюминутную экономическую целесообразность, на нетрадиционные (природоохранные, природоподобные, nature-based, "green" [2]) технологии.

Ориентацию на максимизацию использования потенциала природы подтверждает и представленный в 2018 году Всемирный доклад Организации Объединенных Наций о состоянии водных ресурсов [3], в котором говорится, что человечеству нужны новые решения для управления водными и другими ресурсами, чтобы компенсировать растущие вызовы экологической безопасности в условиях роста населения и изменения климата, и эти решения должны ориентироваться на возможности использования *естественных процессов*, которые регулируют круговороты веществ на планете. *«Это не просто хорошая идея (что, конечно, так и есть) [3, С. VI]», а важный шаг на пути преодоления растущих вызовов водной, продовольственной и энергетической безопасности человечества в условиях роста населения и изменения климата.*

Данное обстоятельство подчеркивает необходимость перехода к принципам и технологиям так называемой «зеленой экономики» [6] – направлению в экономической науке, сложившемуся за последние два десятилетия, в рамках которого считается, что экономика является зависимым компонентом природной среды, в пределах которой она существует и является ее частью. Теория «зелёной экономики» базируется на следующих постулатах: невозможно бесконечно расширять сферу влияния в ограниченном пространстве, невозможно требовать удовлетворения бесконечно растущих потребностей человека в условиях ограниченности ресурсов, в своей реализации эти технологии должны использовать принципы и закономерности, заложенные природой и доказавшие свою эффективность сотнями миллионов лет существования жизни на Земле.

Необходимость перехода человечества на nature-based технологии осознана им на эмпирической основе. В связи со этим цель настоящей работы – теоретически подтвердить не просто необходимость, а неизбежность разработки человеком технологий "зеленой экономики", рассмотреть перспективы их применения в сельскохозяйственных экосистемах («зеленое земледелие»), существование которых, в свою очередь, неразрывно связано с использованием водных ресурсов суши, показать степень применения этих технологий на планете и, в качестве примера, продемонстрировать перспективы использования подобных технологий в агроэкосистемах степного Крыма.

В статье решаются такие задачи как:

(а) обоснование на основе теории диссипативных структур неизбежности перехода от технологий природопользования, ориентированных на принцип Г.Циглера, на технологии, ориентированные на принцип И.Пригожина;

(б) обоснование связи "зеленой экономики" и природоподобных технологий;

(в) демонстрация наступления на планете нового этапа в земледелии – развития no-till технологий;

(г) оценка эффективности применения различных агротехнологий при выращивании зерновых культур в степной части Крыма с использованием энергетических критериев.

#### **Методы и принципы исследования**

Используемые в работе методы исследований соответствовали указанным выше задачам. Для решения задач (а) и (б) использовались методы теории диссипативных структур. Эти методы, применимые для любых диссипативных систем (к которым относятся и живые структуры), позволили на физической основе провести анализ экологических процессов, связанных с технологиями природопользования, и показать неизбежность использования человеческой цивилизацией природоподобных (nature-based) технологий.

Решение задачи (в) основывалось на анализе большого количества литературных материалов, посвященных эволюции технологий земледелия на планете. Данный анализ позволил подтвердить теоретические выводы, вытекающие из решения задач (а) и (б).

Для решения задачи (г) использовалась созданная ранее авторами настоящей статьи концепция энергетической оценки эффективности различных приемов обработки почвы, а также разработанная авторами модель тепловлагообмена в агроэкосистемах MULCH, воспроизводящая процессы формирования водного режима на сельскохозяйственных полях, покрытых слоем соломенной мульчи. При этом для расчетов водного режима агроценозов были использованы данные стандартных метеорологических наблюдений и характеристик почвы на агрометеорологических станциях степного Крыма.

В последующих разделах приведены согласно представленному выше списку задач полученные результаты и параллельно проведено их обсуждение.

#### **Переход от технологий природопользования, ориентированных на принцип Г.Циглера, на технологии, ориентированные на принцип И.Пригожина**

В [4] показано, что эволюция диссипативных структур на Земле, к которым относятся в том числе и живые организмы, и надорганизменные системы, подчиняется фундаментальному принципу – *принципу максимального производства энтропии Г.Циглера* [7]. Согласно этому принципу, те биологические виды или надорганизменные структуры, которые наилучшим образом (при прочих равных условиях) утилизируют порции потока доступной энергии для роста и существования, будут увеличивать распространение и численность, что приводит к увеличению потока энергии через систему. При этом, естественно, увеличивается и диссипация энергии, а значит, и производство



системой энтропии. И пока запасы приходящей доступной энергии не истощатся, эволюция идет по пути максимизации производства энтропии [8], [9].

В этот период формируются наиболее конкурентоспособные диссипативные структуры (как, например, человеческая популяция на Земле в период голоцена). Но как только вся доступная энергия будет использована, относительно быстрые эволюционные изменения сменяются относительно медленными процессами оптимизации гомеостаза возникших структур. Эти процессы будут ориентированы на снижение потерь при преобразовании приходящей энергии в энергию полезную для возникших структур. Соответственно, начнется минимизация и производства энтропии. На этом этапе главным становится частный случай МЕРР – *принцип минимума производства энтропии* И. Пригожина [8], [9], [10] – кажущегося «антипода» МЕРР. В действительности противоречий между двумя этими полярными формулировками не существует. Принцип Г. Циглера представляет собой более общее требование, справедливое для нестационарных систем, эволюционирующих к своему относительно стационарному состоянию, а принцип Пригожина сформулирован для систем, находящихся в стационарном неравновесном состоянии. «Когда система эволюционирует к своему стационарному состоянию, подчиняясь принципу максимума производства энтропии, величина этого максимума приращения энтропии с каждым последующим шагом уменьшается. Минимум производства энтропии И. Пригожина, по существу, означает – минимакс в цепочке уменьшающихся максимумов ее приращений на каждом последующем шаге эволюции» [9, С. 16].

Человечество на современном этапе голоцена оказалось именно в ситуации действия принципа И. Пригожина – ситуации необходимости и неизбежности рационального использования им доступных ресурсов, включая области сельского хозяйства и связанного с ним сектора водного хозяйства.

### **«Зеленая экономика» и природоподобные технологии**

Указанная ситуация ведет к переходу от традиционных так называемых «серых» (“gray”) технологий управления природными ресурсами, ориентированных только на сиюминутную экономическую целесообразность, на нетрадиционные (природоохранные, природоподобные, nature-based) технологии (“green technology” [2]). Технологии, основанные на использовании природных или близких к ним процессах, обеспечивают меньшее производство энтропии, чем созданные разумом человека техногенные «серые» технологии, поскольку природные процессы с точки зрения минимума производства энтропии И. Пригожина уже были оптимизированы Природой в конце предыдущего шага эволюции Земли (в отсутствии человека). Поэтому на данном этапе голоцена, когда ресурсы доступной человечеству (в настоящее время наиболее активной диссипативной структуры планеты) энергии истощаются и на первый план выходит рационализация использования этих ресурсов, неизбежно появление технологий, ориентированных на постулат классика экологии Б. Коммонера – «природа знает лучше» [11, С. 29].

### **Развитие no-till технологий в земледелии**

Таким образом, в XX в. начался новый этап в эволюции такой диссипативной структуры на планете как человеческая популяция. Произошел закономерный переход стратегии ее развития, основанной на принципе максимума производства энтропии Циглера, к стратегии минимума производства энтропии Пригожина, в основе которого лежит рационализация использования диссипативной структуры доступных ресурсов. Фундаментом указанной рационализации служат природоподобные (nature-based) [3], [4] технологии использования человеком природных ресурсов. В частности, в земледелии начался переход на так называемые нетрадиционные (*природоподобные, адаптивные, почвозащитные, природоохранные, минимальные, нулевые, зеленые (“green”), no-till технологии обработки почвы*) [12], [13].

Традиционные технологии энергозатратной плужной обработки почвы связаны с оборотом ее пласта, но почва – это в первую очередь разнородные слои земли. При обороте пласта те бактерии (аэробные), которые могут жить только в верхнем слое, оказываются внизу, а те бактерии, которые существуют в глубине почвы (анаэробные), попадают наверх и также гибнут. А ведь все эти бактерии своей жизнедеятельностью обеспечивают плодородие почвы, накопление в ней гумуса [14]. Великий русский аграрий Иван Евгеньевич Овсинский еще в 1899 году сравнивал разрушительный эффект от плуга для отвальной вспашки с разрушением от артиллерийских снарядов: *«Знаменитый Крупн своими снарядами военного разрушения не принес столько вреда человечеству, сколько принесла одна фабрика плугов для глубокой вспашки»* [15].

В отличие от плужной обработки почвы no-till технологии характеризуются более экономичными способами ее обработки: частичным или полным отказом от отвальной вспашки, отсутствием вертикального перемешивания пахотного слоя, минимальным нарушением почвенного покрова сельскохозяйственными машинами и обязательным мульчированием почвы (no-till или mulch tillage) с целью сохранения почвенной влаги и уменьшения эрозии почвы. Эти технологии основаны на воспроизведении природных или близких к ним процессов, поскольку связаны с минимальной обработкой почвы (без несвойственного биосфере оборота пласта) в сочетании с мульчированием ее поверхности растительными остатками (замещающими присутствующий в естественных степных экосистемах растительный войлок, уменьшающий непродуктивное испарение с почвы и ее эрозию [16], [17].

Здесь необходимо отметить, что развитие природоподобных технологий неизбежно связано с достижениями в науке, получаемыми на стыке различных научных дисциплин. Приоритетом научных исследований предыдущих столетий развития человечества был *анализ* природных процессов, что неизбежно привело к формированию научного мышления, ориентированного на разделение знаний о Природе на множество часто совсем не связанных друг с другом научных направлений. Накопилось множество знаний, которые существуют отдельно друг от друга, что плохо отражает суть Природы. которая едина (*она не знает научных дисциплин*). Здесь уместно напомнить слова классика квантовой механики Э.Шредингера, который уже более полувека тому назад написал: «Мы унаследовали от наших предков острое стремление к цельному, всеобъемлющему знанию. <...> Но расширение и углубление разнообразных отраслей знания в течение последних 100 с лишним лет поставило нас перед странной дилеммой. С одной стороны, мы чувствуем, что только теперь начинаем приобретать надежный материал для того, чтобы свести в единое целое все до сих пор известное, а с другой стороны, становится почти невозможным для одного ума полностью овладеть более

чем одной небольшой специальной частью науки. Я не вижу выхода из этого положения (чтобы при этом наша основная цель не оказалась потерянной навсегда), если кто-то из нас не рискнет взяться за синтез фактов и теорий, хотя наше знание в некоторых областях неполно и получено из вторых рук, и хотя мы можем подвергнуться опасности показаться невеждами» [18, С.13].

Таким образом подошло время приоритета *синтетического* мышления как в науке, так и в практике. Развитие *природоподобных* технологий (ориентированных на целостность Природы) – неизбежность будущего взаимодействия человека с окружающей средой.

Система нулевой обработки почвы (no-till – «не пахать» – отсутствие вмешательства в естественные процессы почвообразования) – современная система земледелия, при которой почва не обрабатывается, а её поверхность укрывается своеобразным «одеялом» специально измельчённых остатков растений — мульчей. В различных регионах планеты внедряется технология прямого посева "no-till" и мульчирования, при этом используют мелкое, поверхностное рыхление или даже полный отказ от обработки почвы [13], [16].

Сегодня no-till технология (рис. 1) применяется в хозяйствах от северного полярного круга (Финляндия) до 50°С южной широты (Фолкленские и Мальдивские острова); на равнинах и на высоте до 3000 м над уровнем моря (Колумбия, Боливия); от территорий повышенной влажности (Бразилия, Чили) до крайне засушливых зон (Западная Австралия). Но в разных странах степень ее применения различна.



Рис. 1 – Пример ресурсосберегающей no-till обработки почвы: посев без вспашки по мульче (– URL: <http://www.quazoo.com/q/Strip-till>)

В наибольшей мере в настоящее время природоподобная no-till технология используется фермерами-механизаторами в Южной Америке: на 45% посевной площади в Бразилии, 80% — в Аргентине и 60% — в Парагвае, а также в Австралии, где на нулевую систему перешли 70% фермеров [13], [19]. Аргентина, Парагвай и Австралия — лидирующие страны в мире по проценту внедрения метода no-till. В США лишь около 17% общей посевной площади занято под no-till обработку почвы [19], [20].

#### **Перспективы применения «зеленого земледелия» в России**

В Европе, Африке и Азии по сравнению с американскими континентами устойчивая производственная система по сбережению природных ресурсов no-till пока применяется в небольшой степени. На постсоветском пространстве относительно широко технология no-till применяется лишь в Казахстане, обеспечивая его качественным зерном твердых сортов пшеницы. В России в настоящее время темпы перехода на no-till технологии весьма скромные. Для указанного перехода необходима или централизованная государственная программа, или оперативная реакция самих сельскохозяйственных производителей (включая работу ученых, фермеров, представителей бизнеса и создателей оборудования для no-till). По разным причинам (в первую очередь в силу сырьевой стратегии социально-экономического развития страны) ни того, ни другого в России нет. Поэтому в России технология no-till используется лишь фрагментарно в Башкортостане, Зауралье, на Алтае, в Южной Сибири, тем не менее демонстрируя в большинстве случаев неплохие результаты [21], [22].

Несмотря на небольшой опыт применения в России no-till технологий, многие специалисты в области земледелия считают, что использование nature-based технологий в ней все же неизбежно будет расширяться [12], [21], [30]. В связи с отсутствием в стране длительных полевых исследований (~ 20 – 30 лет) по использованию нулевой технологии, перспективы использования no-till в России можно оценить лишь теоретически.

В частности, в [23], [24] было показано, что экологически более обоснованная и более природоподобная агротехнология, связанная с минимальной обработкой почвы в сочетании с мульчированием ее поверхности растительными остатками, в районах степной и лесостепной зон Европейской части России оказывается дешевле использования агрессивной по отношению к биосфере традиционной агротехнологии, основанной на глубокой вспашке (связанной, как правило, с оборотом пласта) и применении орошения (приводящего к нарушению естественных структур гидрологического цикла).

### Энергетические критерии эффективности применения различных агротехнологий при выращивании зерновых культур в степной части Крыма

В данной работе рассмотрен еще один пример эффективности использования ресурсосберегающей природоподобной технологии в степной части Крымского полуострова. При этом критерием качества оценки технологии служила ее *энергетическая эффективность*. В силу специфики водообеспеченности Крыма, обусловленной тем, что в настоящее время большая часть посевных площадей степной части полуострова находится на богаре в силу перекрытия 2014 г. Украиной поступления днепровской воды в Северо-Крымский канал, были рассмотрены технологии обработки почвы только в отсутствие орошения.

Объектом исследования явились посевы озимой пшеницы в степной части Крымского полуострова [25]. Была проведена сравнительная оценка двух типов обработки почвы: традиционной отвальной вспашки и no-till технологии с мульчированием в сочетании с мульчированием поверхности почвы растительными остатками. Эффективности агротехнологий оценивались для посевов озимой пшеницы с использованием данных метеорологических наблюдений за 1970–1989 гг. четырех агрометеорологических станций (Ишунь, Черноморское, Клепилино, Нижнегорск) (рис.2). Физико-географические условия как по климату, так и по типам почв в районах этих станций достаточно близки..

Следует отметить, что методы расчета водного режима посевов с использованием мульчирования рассматриваются и в ряде зарубежных работ. Однако, эти работы, как правило, основаны на концептуальных или эмпирических подходах, не позволяющих систематизировать полученные результаты и обобщать их для разных природных условий. В отличие от указанных работ, в настоящем исследовании основным методическим инструментом исследования водного режима посевов являлась разработанная авторами модель физико-математическая тепловлагообмена в агроэкосистемах MULCH [26]. Подробное описание модели MULCH, воспроизводящей процессы формирование водного режима на сельскохозяйственных полях, покрытых слоем соломенной мульчи, представлено в работе [17]. Модель позволяет рассчитывать динамику составляющих водного баланса в корнеобитаемом слое почвы (его глубина была принята равной 1 м), а также урожайность посевов с суточных временным шагом для периода от таяния снежного покрова до момента возникновения отрицательных температур воздуха.



Рис. 2 – Расположение агрометеорологических станций Крыма (серые кружки), данные наблюдений которых использованы в работе [25]

Что касается эффективности того или иного технологического приема, то обычно основой ее оценки служит отношение получаемого на выходе эффекта к приложенным затратам. В принципе для этой цели могут быть использованы экономические оценки, при которых как выходные, так и затратные характеристики выражены в денежных единицах. Однако, экономические показатели в силу антропоцентристской основы субъективны, конъюнктурны и нестабильны. С нашей точки зрения при оценке эффективности тех или иных приемов земледелия более приемлемым является *общезэкологический энергетический подход*, развитый в работах [17], [27], [28]. Здесь мы используем разработанный авторами подход, описанный в [17].

При его использовании автотрофные растительные сообщества Земли рассматриваются в качестве преобразователей солнечной энергии в энергию химических соединений их тканей. Земледелие при этом выступает одновременно как в качестве потребителя поступающей в агроэкосистему энергии (связанной с приходящей солнечной радиацией  $E_{sn}$  и с различными источниками антропогенной энергии  $E_{in}$ ), так и в качестве ее производителя в форме химической энергии продуктов питания и органического сырья  $E_{out}$ . Указанная выше совокупная антропогенная энергия  $E_{in}$  складывается из энергетических затрат, израсходованных на технологические процессы по

выращиванию и сбору урожая, на производство и эксплуатацию техники и оборудования, их амортизацию, капитальные вложения, ирригацию, получение топлива, минеральных удобрений и т. п.

Кроме того, использование той или иной технологии обработки почвы, меняет ее энергетическое содержание, приводя к уменьшению или увеличению в зависимости от используемой технологии содержания органического вещества (гумуса) в почве. Именно содержание гумуса, в значительной мере определяя плодородие почвы и, соответственно, условия фотосинтетического использования растительным покровом солнечной радиации и производства первичной органической продукции, напрямую связано с почвенной энергетикой.

В этом случае оценка эффективности используемой технологии производится на основе учета не только выхода продукции в данный момент, но и перспектив рассматриваемой технологии в отношении сохранения почвенного плодородия. Один из вариантов такого критерия оценки эффективности соответствующей технологии  $K$  может быть представлен в виде [17]:

$$K = \frac{E_{out} + \Delta E_s}{E_{in}} \quad (1)$$

где  $\Delta E_s$  – изменение за соответствующий временной интервал (например, за год) энергии почвенного покрова.

Суммарные затраты антропогенной энергии  $E_{in}$  при производстве различных сельскохозяйственных культур определяются многими факторами, как природными, так и экономико-технологическими, что приводит к значительной изменчивости этих затрат в разных районах мира. В российских исследованиях затраты антропогенной энергии в сельскохозяйственном производстве часто подразделяют на прямые и косвенные [27]. К прямым затратам (непосредственно связанным с осуществлением сельскохозяйственных работ) относятся трудовые затраты, расходы топлива и смазочных материалов, затраты, связанные с эксплуатацией и ремонтом автотранспорта и сельскохозяйственной техники, внесением удобрений, посевом семян, расходы на проведение ирригационных работ. К косвенным – энергетические затраты, связанные с изготовлением сельскохозяйственных машин и оборудования, получением посевного материала, производством топлива, удобрений и т.д. По оценкам [27] косвенные затраты составляют 30-50% от прямых.

Как было указано выше, антропогенные затраты зависят как от природных условий, так и от применяющейся агротехники. Замена отвальной вспашки почвы безотвальной обработкой с мульчированием поверхности почвы позволяет экономить энергетические затраты на технологический комплекс работ по выращиванию урожая. Разные источники [29], [30], [31] приводят различные оценки такой экономии. Например, расход дизельного топлива за сезон при возделывании зерновых культур (в среднем по Республике Башкортостан), равен: для традиционной технологии 55-70 л/га, для минимальной технологии 35-50 л/га [22].

Внедрение новых технологий предполагает использование более современной техники, что меняет затраты на приобретение машин при различных системах земледелия. Рассмотрим реальный пример. В сельскохозяйственном предприятии «Агро-Союз» (Украина) при традиционной обработке 10 тыс. га использовалось 56 тракторов и 88 сельхозмашин, на приобретение которых затрачено 3,32 млн \$US. Таким образом, инвестиции в закупку техники на 1 га составили 332 \$US. При сберегающей технологии на обработку аналогичной площади понадобились лишь один трактор и один посевной комплекс, а инвестиции в расчете на 1 га составили всего 55 \$US [22].

Полагая, что нормативный срок службы сельскохозяйственной техники  $\approx 10$  лет [32], получаем, что за сезон затраты на сельскохозяйственную технику равны при традиционной обработке 33 \$US на 1 га, при сберегающей технологии – 6 долларов на 1 га. В сумме прямые годовые расходы (на ГСМ, с/х технику)  $\sim$  равны при традиционной обработке 95 \$US на 1 га, при сберегающей технологии – 50 \$US на 1 га. Полагая, что (как указано выше) косвенные затраты антропогенной энергии в сельскохозяйственном производстве составляют  $\sim 40\%$  от прямых расходов при традиционной обработке почвы, получаем, что общие годовые антропогенные расходы  $\approx 135$  \$US на 1 га при традиционной обработке почвы и 90 \$US на 1 га при сберегающей технологии. Эти значения и были приняты при оценке антропогенных затрат при производстве зерновых на четырех агрометеорологических станциях степного Крыма. Полученные значения затрат в долларах/га были с использованием энергетического эквивалента барреля нефти и стоимость нефти, принятой равной 50 \$US/баррель, переведены в энергетические расходы  $E_{in}$  в ГДж/га (табл. 1).

Таблица 1 – Энергетические составляющие и энергетическая эффективность при выращивании пшеницы на агрометеорологических станциях степного Крыма при использовании разных технологий обработки почвы

Агрометеорологическая станция	$E_{in}$ , ГДж/га	$E_{out}$ , ГДж/га	$\Delta E_s$ , ГДж/га	$K$
Традиционная отвальная вспашка				
Ишунь	18	38	-4	1.8
Черноморское	18	43	-4	2.1
Клепилино	18	62	-4	3.1
Нижнегорск	18	51	-4	2.5
Минимальная обработка почвы с мульчированием				
Ишунь	12	40	1	3.4
Черноморское	12	51	1	4.2
Клепилино	12	69	1	5.7
Нижнегорск	12	54	1	4.5

Используемая в уравнении (1) энергия  $E_{out}$ , связанная с выходом конечной продукции, может быть оценена следующим образом:

$$E_{out} = qY \quad (2)$$

где  $q$  - калорийность зерна, ГДж/т;  $Y$  - хозяйственная урожайность, т/га.

Калорийность зерна, характеризующая удельное содержание энергии в единице массы пшеницы, по различным источникам также колеблется от 12 до 16 ГДж/т [33], [34], [35]. В связи с этим было принято  $q=15$  ГДж/т. Полученные для выбранных станций значения  $E_{out}$  приведены в табл.1.

Перейдем к оценке энергии почвы. Как отмечают исследователи энергетики почвообразовательных процессов [36], [37], основная часть энергии сосредоточена в органическом веществе. Количественные оценки энергии почвы связываются именно с содержанием гумуса в различных типах почв [38]. При этом в литературе имеются сведения об изменениях содержания гумуса при возделывании различных сельскохозяйственных культур в различных районах [39], [40]. Поэтому в данных расчетах учитывалась та часть энергии почвы, которая сосредоточена в гумусе. Эта энергия непосредственно не расходуется на продукционный процесс, но определяет условия связывания растением солнечной энергии.

В естественных экосистемах, находящихся в условиях динамического равновесия, содержание гумуса и, следовательно, энергии почвы, достигает своего максимально возможного в этих условиях значения. При сельскохозяйственном производстве условия формирования почвенного покрова меняются: многообразие растительных сообществ заменяется на монокультуру, часть растительной продукции в виде урожая выносятся из экосистемы. В результате сложившееся в естественных условиях равновесие содержания гумуса нарушается, и интенсивность убыли гумуса часто начинает преобладать над интенсивностью его восполнения [27], [30], [40].

Общий баланс количества органического вещества в почве зависит от разности между его поступлением в почву и убылью вследствие его минерализации и выноса (в частности, в результате почвенной эрозии). Таким образом, годовое изменение энергии в почве  $\Delta E_s$  можно оценить в соответствии со следующим уравнением:

$$\Delta E_s = Q \Delta M_z, \quad \Delta M_z = M_g - M_m - M_{er} \quad (3)$$

где  $Q$  - удельное содержание энергии в тонне гумуса, ГДж/т;  $M_g$  - интенсивность восполнения гумуса пожнивными остатками и корнями, т/га год;  $M_m$  - интенсивность минерализации гумуса, т/га год;  $M_{er}$  - интенсивность потери гумуса в результате эрозионного смыва почвы.

Результаты определения удельного содержания энергии в единице массы гумуса  $Q$  немного различаются в различных исследованиях. В данной работе было принято значение  $Q$ , равное 23 ГДж/т [41], [42].

Интенсивности гумификации и минерализации органического вещества почвы, зависящие от климатических, биологических, геологических условий, различны и под разными культурами и при различных способах обработки почвы [30], [43], [44]. В частности, при отвальной вспашке на разного типа черноземах и каштановых почвах под культурами сплошного сева, например под пшеницей, в пахотном слое минерализуется гумуса 0.5-1.0 т/га год и восполняется 0.4-0.6 т/га год [40]. Безотвальная обработка почвы с мульчированием снижает скорость минерализации гумуса на ~ 30% [30].

Использование приведенных в отмеченных выше литературных источниках данных об интенсивности процессов минерализации  $M_m$  и гумификации  $M_g$  для различных почв и агротехнических приемов, позволило оценить суммарные изменения энергии почвы, происходящие в результате указанных процессов при производстве пшеницы для выбранных агрометеорологических станций степного Крыма.

Что касается эрозионных потерь гумуса, то в настоящей работе расчет смыва почвы, необходимый для оценки эрозионного выноса гумуса под воздействием талого стока, проводился по методике [45], [46]. В частности, для расчета стока наносов в период весеннего половодья использовалась зависимость:

$$M_T = K_{er} h^j a b k \quad (4)$$

где  $M_T$  - модуль стока наносов за период половодья т/га;  $h$  - слой склонового стока за половодье, мм;  $a, j$  - параметры, зависящие от типа ручейковой сети;  $b, k$  - коэффициенты, учитывающие влияние предшествующей сельскохозяйственной культуры и уклон пашни, соответственно, (согласно [46] для зерновых культур  $b=0.9$ , а при уклонах пашни  $< 10\%$   $k=1$ ).  $K_{er}$  - коэффициент, учитывающий влияние противоэрозионных мероприятий.

Для расчета дождевого смыва использовалось так называемое Универсальное уравнение Вишмайера и Смита [47]:

$$M_d = D_{\varepsilon} f(L, I) P_{\varepsilon} A K_{er} \quad (5)$$

где  $M_d$  - модуль ливневого смыва, т/га год;  $D_{\varepsilon}$  - эрозионный потенциал осадков (ЭПО);  $f(L, I)$  - функция от длины склона  $L$ , м, и уклона  $I$ , %;  $P_{\varepsilon}$  - смываемость, эродированность почвы, т/га на ЭПО;  $A$  - безразмерный коэффициент, учитывающий почвозащитные свойства агрофона.

Описанная методика оценки эрозионного почвы применяется достаточно широко, и для нее на экспериментальном материале получены и обобщены основные [48].

Не останавливаясь подробно на всех параметрах уравнений (4) и (5) отметим, что в настоящей работе расчет эрозионного смыва проводился для средних уклонов посевных площадей районов степного Крыма (2-5%). Значения параметра  $K_{er}$ , учитывающего уменьшение эрозии при безотвальной обработке почвы и мульчировании почвы растительными остатками, можно найти в литературных источниках [47], [49], [50]. При использовании мульчирования более 20 лет, когда на почве создается «одеяло» из пожнивных остатков, достигается идеальная ситуация для почвы: высокий круговорот питательных элементов, высокий коэффициент содержания углерода, минимизация непродуктивного испарения почвой, минимизация использования минеральных удобрений для получения урожая и *практически полное исключение почвенной эрозии* [21], [22]. Поэтому в настоящей работе было принято, что при использовании сберегающей технологии эрозия отсутствует ( $K_{er}=0$ ).

Интенсивность потери гумуса в результате эрозионного смыва почвы  $M_{er}$  оценивалась как  $CM_C$ , где  $M_C$  – суммарный годовой смыв почвы под действием эрозии, являющейся суммой дождевого  $M_D$  и талого  $M_T$  смыва,  $C$  – относительное содержание гумуса в почве. Данные по последней характеристике для различных типов почв были взяты из [51] и принимались равными в диапазоне 2-3% для выбранных агрометеорологических станций.

После оценки составляющих годового изменения энергии в почве для используемых агротехнологий в районах выбранных станций Крыма были рассчитаны характерные значения суммарной величины  $\Delta E_s$  (табл.1).

Полученные для выбранных станций данные по статьям энергетического баланса  $E_{in}$ ,  $E_{out}$  и  $\Delta E_s$  для рассмотренных агротехнологий, применяемых при производстве пшеницы, позволили на основе уравнения (1) рассчитать энергетическую эффективность  $K$  этих технологий при их использовании на агрометеорологических станциях степного Крыма. Необходимые данные по среднему урожаю пшеницы при оптимальной толщине мульчирующего покрытия ( $\approx 4-5$  см) при этом были также получены на основе модельных расчетов [25]. Результаты расчетов  $K$  приведены на рис.3. Анализ этих результатов позволяет сделать следующие заключения.

Как видно из табл. 1, антропогенные затраты энергии при использовании минимальной обработки почвы с мульчированием на треть ниже антропогенных затрат при традиционной отвальной вспашке. Энергетический выход с урожаем зерна в среднем на 10% выше для минимальной обработки почвы. Изменение за год энергии почвенного покрова значительно отличается для двух технологий, прежде всего за счет различия в эрозионных потерях. При использовании традиционной отвальной вспашки плодородие почвы уменьшается, при сберегающей технологии обработки почвы, наоборот, увеличивается. Все это приводит к тому, что для степных районов Крыма энергетическая эффективность  $K$  минимальной обработки почвы с мульчированием в 2–3 раза выше энергетической эффективности использования традиционной отвальной вспашки (рис. 3). Отметим однако, что полученные результаты прогнозируются для долговременного (15 – 20 лет) использования технологии минимальной обработки почвы с мульчированием. Таким образом, минимальная обработка почвы может рассматриваться в качестве наиболее перспективной при стратегическом планировании развития зернового земледелия в рассмотренном регионе.

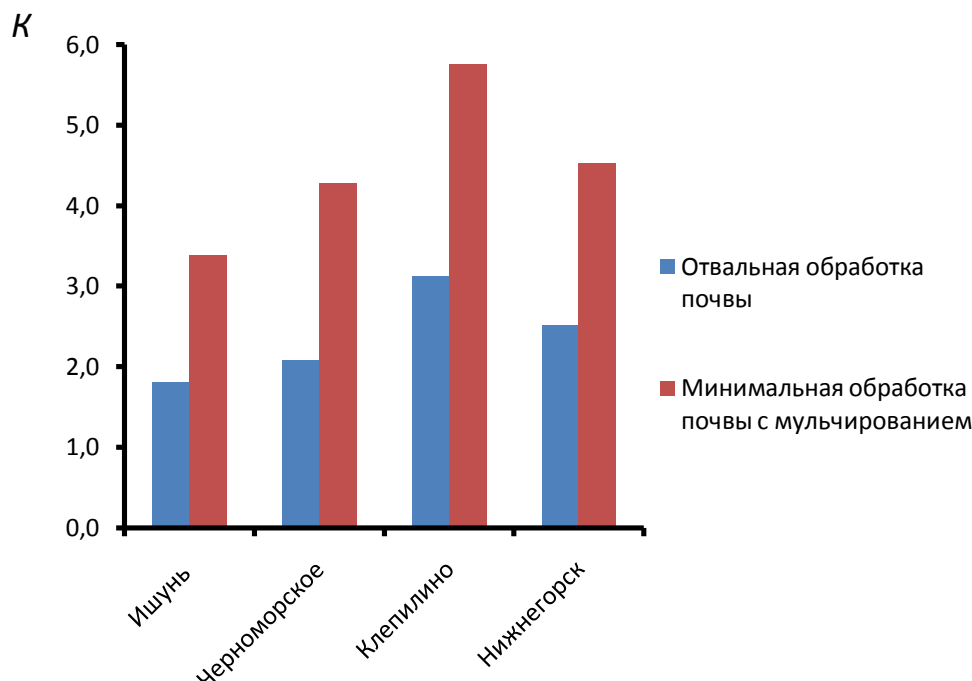


Рис. 3 – Энергетическая эффективность использования разных технологий обработки почвы при выращивании пшеницы на агрометеорологических станциях степного Крыма (результаты усреднены по периоду проведения расчетов: 1970-1989 гг.)

## Выводы

1. Показано, что человечество на современном этапе голоцена оказалось в ситуации действия принципа И. Пригожина – ситуации необходимости и неизбежности рационального использования им доступных ресурсов, включая области сельского хозяйства и связанного с ним сектора водного хозяйства. Данное обстоятельство неизбежно ведет к использованию человечеством стратегии «зеленого земледелия». Проявляется это в переходе в



сельском хозяйстве от традиционных, так называемых «серых» технологий управления природными ресурсами, жестко ориентированных только на сиюминутную экономическую целесообразность, на нетрадиционные (ресурсосберегающие, природоохранные, природоподобные, “nature-based”, “green”) технологии.

2. Продемонстрировано, что в XX в. начался новый этап в эволюции такой диссипативной структуры на планете как человеческая популяция. Уже в настоящее время использование в земледелии природоподобных no-till технологий становится все более широким. No-till земледелие является долгосрочным видом ресурсосбережения. При грамотном его осуществлении существенно повышается эффективность производства, удается достичь максимальных показателей минимизации затрат, сокращения ущерба экономике и экологии.

3. В качестве иллюстрации к полученным теоретическим выводам представлены результаты модельной оценки энергетической эффективности использования разных технологий обработки почвы при выращивании пшеницы на агрометеорологических станциях степного Крыма. Проведено сопоставление двух агротехнологий: традиционной отвальной вспашки и минимальной обработки почвы с мульчированием ее поверхности пожнивными остатками. Показано, что антропогенные затраты энергии при использовании минимальной обработки почвы с мульчированием на треть ниже антропогенных затрат при традиционной отвальной вспашке. При этом энергетический выход с урожаем зерна примерно в среднем на 10% выше для минимальной обработки почвы. Изменение за год энергии почвенного покрова значительно отличается для двух технологий, прежде всего за счет различия в эрозионных потерях. При использовании традиционной отвальной вспашки плодородие почвы уменьшается, при сберегающей технологии обработки почвы, наоборот, увеличивается. Это приводит к тому, что для степных районов Крыма энергетическая эффективность долговременного применения минимальной обработки почвы с мульчированием в 2 – 3 раза выше энергетической эффективности использования традиционной отвальной вспашки. Таким образом, минимальная или no-till обработка почвы с мульчированием может рассматриваться в качестве наиболее перспективной при стратегическом долгосрочном планировании развития зернового земледелия в рассмотренном регионе.

#### Финансирование

Работа выполнена в рамках темы № 0147-2018-0001 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090056-0) Государственного задания ИВП РАН (раздел «Энергетические критерии эффективности применения различных агротехнологий при выращивании зерновых культур в степной части Крыма») и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-17-10039) (разделы «Переход от технологий природопользования, ориентированных на принцип Г.Циглера, на технологии, ориентированные на принцип И.Пригожина», «Зеленая экономика» и природоподобные технологии», «Развитие no-till технологий в земледелии» и «Перспективы применения «зеленого земледелия» в России»).

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Funding

This work was carried out within the framework of topic No. 0147-2018-0001 (state registration number АААА-А18-118022090056-0) of the State assignment of the Institute of Industrial Sciences of the Russian Academy of Sciences (section "Energy criteria for the effectiveness of various agricultural technologies in growing grain crops in the Crimean steppe") and supported RSF (grant No. 16-17-10039) (sections "Conversion from environmental management technologies oriented to the G. Ziegler principle, to technologies oriented to the I. Prigozhin principle", "Green economy" and nature-based technologies", "No-till technology development in farming" and "Prospects for the use of "green farming" in Russia").

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Building a Green Infrastructure for Europe / European Commission. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. – 24 p.
2. Palmer, M.A. Water security: Gray or green? [Текст] / M.A. Palmer, J. Liu, J.H. Matthews, M. Mumba, P. D’Odorico // Science. 2015. – V. 349. – P. 584–585. doi: 10.1126/science.aac7778.
3. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water [Текст] / WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. – Paris: UNESCO, 2018. – 139 p.
4. Gusev E.M. Inevitability and Prospects of the Use of the “Green Farming” Strategy by Humanity E.M. Gusev // Arid Ecosystems. – 2019. V.9. – N.3. – P.143–149. doi: 10.1134/S2079096119030041.
5. Sustainable Management of Water Resources in Agriculture [Текст] / Paris: OECD publishing, 2010. – 120 p.
6. XII Международный форум «Зеленая экономика». 21-23 Мая 2018 г. РФ, С.-Петербург [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://biotech2030.ru/21-23-maya-2018-xii-mezhdunarodnyj-forum-zelenaya-ekonomika/> (дата обращения: 05.08.2019).
7. Циглер, Г. Экстремальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды [Текст] / Г. Циглер. – М.: Мир, 1966. – 136 с.
8. Мартюшев, Л.М. Принцип максимальнойности производства энтропии в физике и смежных областях [Текст] / Л.М. Мартюшев, В.Д. Селезнев. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 83 с.
9. Делас, Н.И. Принцип максимальнойности производства энтропии в эволюции экосистем: некоторые новые результаты [Текст] / Н.И. Делас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – V.6. – N.4(72). – С.16–23. doi: 10.15587/1729-4061.2014.31345.
10. Пригожин, И. Введение в термодинамику неравновесных процессов [Текст] / И. Пригожин // М.: Издательство иностранной литературы, 1960. – 127 с.
11. Коммонер, Б. Замыкающийся круг [Текст] / Б. Коммонер // Л.: Гидрометеониздат, 1974. – 274 с.

12. Мареев М.А. No-till - время пришло [Электронный ресурс] / – URL: <http://www.tambov-apk.ru/articles/3519/> (дата обращения: 25.08.2019).
13. Hall A. The greening of agriculture. Agricultural innovation and sustainable growth [Текст] / A. Hall, K. Dorai. – Brighton, United Kingdom: Link Limited, 2010. – 60 p.
14. Шпаковский Н.А. Эволюция технологии обработки почвы [Электронный ресурс] / – URL: [www.loplosh.ru/article/articles-about-agriculture/evolution-of-technologies-of-tillage.html](http://www.loplosh.ru/article/articles-about-agriculture/evolution-of-technologies-of-tillage.html) (дата обращения: 27.06.2019).
15. Крылов С. Почему не надо пахать землю [Электронный ресурс] / – URL: <https://lavkazeta.com/otvetstvennost/pochemu-ne-nado-pahat-zemlyu/> (дата обращения: 17.09.2019)..
16. Сельскохозяйственные экосистемы [Текст] / под ред. Л.О. Карпачевского. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
17. Гусев Е.М. Ресурсы почвенных вод и экология наземного растительного покрова. Концепции, эксперимент, расчеты [Текст] / Е.М. Гусев // Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 116 с.
18. Шредингер Э. Что такое жизнь? [Текст] / Э. Шредингер // М.: Атомиздат, 1972. – 88 с.
19. Так что же было раньше: обработка или «ноль»? [Электронный ресурс] / – URL: <http://agrotechnology.com/no-till/teoriya/tak-chto-zhe-bylo-ranshe-obrabotka-ili-nol> (дата обращения: 10.08.2019).
20. Прямой посев: южноамериканская и австралийская модель. [Электронный ресурс] / – URL: [http://agropraktik.ru/blog/Direct\\_seed/1029.html](http://agropraktik.ru/blog/Direct_seed/1029.html) (дата обращения: 18.07.2019).
21. Сафин Х.М. Технология No-till в системе сберегающего земледелия: теория и практика внедрения [Текст] / Х.М. Сафин, Л.С. Шварц, Р.С. Фахрисламов // Уфа: Мир печати, 2013. – 72 с.
22. No-till сберегает почву и деньги крестьянина [Электронный ресурс] / – URL: <https://apc-intech.ru/no-till-sberegaet-pochvu-i-dengi-krestyanin> (дата обращения: 17.08.2019).
23. Гусев Е.М. Влияние различных агротехнологий на формирование водного режима, урожайность, эколого-энергетическую и экономическую эффективность посевов пшеницы в степной и лесостепной зонах Русской равнины [Текст] / Е.М. Гусев, Л.Я. Джоган // Природообустройство. – 2018. – №3. – С.81–87. doi: 10.26897/1997-6011/2018-3-81-87.
24. Gusev Y.M. Modelling the impact of mulching the soil with plant remains on water regime formation, crop yield and energy costs in agricultural ecosystems [Текст] / Y.M. Gusev, L.Y. Dzhogan, O.N. Nasonova // Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 2018. – V.376. – P.77–82. doi: 10.5194/piahs-376-77-2018.
25. Gusev Ye.M. Soil Mulching as an Important Element in the Strategy of Using Natural Water Resources in Agroecosystems of the Steppe Crimea [Текст] / Ye.M. Gusev, L.Ya. Dzhogan // Eurasian Soil Science. 2019. – V.52 – N.3. – P.313–318. doi: 10.1134/S1064229319010058.
26. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019618725 MULCH. [Текст] / Гусев Е.М., Джоган Л.Я. – Правообладатель: ФГБУ науки Институт водных проблем Российской академии наук (RU); заявл. 14.06.19; опубл. в реестре программ для ЭВМ 03.07.19. Уведомл. о положительном результате проверки заявки на гос рег. программы для ЭВМ от 10.07.19. – 1 с.
27. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов [Текст] / Г.А. Булаткин // Пушино: Ин-т почвоведения и фотосинтеза АН СССР, 1986. – 210с.
28. Odum, H.T. Simulation and evaluation with energy system blocks [Текст] / H.T. Odum, N. Peterson // Ecological modelling. 1996. – V.93. – N.1-3. – P.155–173.
29. Гридасов И.И. Технологические и экономические преимущества минимальной обработки почвы [Текст] / И.И. Гридасов // Земледелие. 1997. – №1, – С.6–7.
30. Картамышев Н.И. Принципы создания экологически безопасных технологий обработки почвы [Текст] / Н.И. Картамышев, И.Т. Бардунова // Агроэкологические принципы земледелия / под ред. И.П. Макаровой, А.П. Щербаковой. – М.: Колос, 1993. С.130–167.
31. Максютлов Н.А. Когда эффективна минимальная обработка почвы? [Текст] / Н.А. Максютлов // Земледелие. 1998. – №1. – С.24–25.
32. Вороновский И.Б. Срок службы сельскохозяйственной техники с учетом экологического фактора [Текст] / И.Б. Вороновский // Збірник наук. праць / ВНАУ. Серія: Економічні науки. – 2012. – №3(69). – Том 2. – С. 56–59.
33. Казаков Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его производства [Текст] / Е.Д. Казаков, В.Л. Кретович // М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
34. Пиментел Д. Затраты энергии в агроэкосистемах [Текст] / Д. Пиментел // Сельскохозяйственные экосистемы / под ред. Л.О. Карпачевского. – М.: Агропромиздат, 1987. – С.119–132.
35. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь (ст. Зерно) [Текст]. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – С.163–164.
36. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования [Текст] / В.Р. Волобуев // М.: Наука, 1974. – 128 с.
37. Волобуев В.Р. Оценка продуктивности агропрогнозов с использованием энергетических критериев [Текст] / В.Р. Волобуев, Л.А. Бабабекова, Ю.А. Зейналов, Д.Г. Пономарев, З.К. Расулова, П.А. Самедов // Почвоведение. 1982. – №7. – С.83–88.
38. Володин В.М. Экологические основы оценки и использования плодородия почв [Текст] / В.М. Володин // М.: ЦИНАО, 2000. – 334 с.
39. Афанасьева Е.А. Черноземы Средне-Русской возвышенности [Текст] / Е.А. Афанасьева // М.: Наука, 1966. – 224 с.
40. Основы экономики и организации земледелия [Текст] / под ред. А.Н. Каштанова. – М.: Агропромиздат, 1988. – 268 с.
41. Володин В.М. Новые принципы оценки эффективности системы земледелия [Текст] / В.М. Володин, Р.Ф. Еремина // Агроэкологические принципы земледелия / под ред. И.П. Макарова, А.П. Щербакова. – М.: Колос, 1993. – С.28-40.



42. Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов [Электронный ресурс] / – URL: <http://kadastr.org/conf/2011/pub/prirresurs/ocen-korm-ugodiy.htm> (дата обращения: 22.08.2019).
43. Rusanov A.M. Soil as a factor of vegetation regeneration in natural pastures [Текст] / A.M. Rusanov // Russian Journal of Ecology. 2011. – V.42. – N.1 – P. 30–37. doi: 0.1134/S1067413611010097.
44. Щербаков А.П. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ [Текст] / А.П. Щербаков, И.Д. Рудай // М.: Колос, 1983. – 190 с.
45. Бобровицкая Н.Н. Эмпирический метод расчета смыва почвы со склонов [Текст] / Н.Н. Бобровицкая // Сток наносов, его изучение и географическое распределение / под ред. А.В. Караушева. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – С.202–210.
46. Инструкция по определению расчетных гидрологических противоэрозионных мероприятий на ЕТС. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 49 с.
47. Эрозия почвы [Текст] / под ред. Киркби М.Дж. и Моргана Р.П.С. – М.: Колос, 1984. – 415 с.
48. Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв [Текст] / Г.А. Ларионов. // М.: Изд. МГУ, 1993. – 200 с.
49. Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 17 [Текст] / под ред Р.С. Чалова. – М.: Географический факультет МГУ, 2010. – 268 с.
50. Константинов И.С. Защита почв от эрозии при интенсивном земледелии [Текст] / И.С. Константинов // Кишинев: Штиинца, 1987. – 240 с.
51. Почвы Крыма. Карта распространения основных почвенных типов [Электронный ресурс] / – URL: <https://ongreenway.org/2016/02/pochvy-kryma-karta-rasprostraneniya-osnovnykh-pochvennykh-tipov/2/> (дата обращения: 05.07.2019).

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Building a Green Infrastructure for Europe / European Commission. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. – 24 p.
2. Palmer M.A. Water security: Gray or green? / M.A. Palmer, J. Liu, J.H. Matthews, M. Mumba, P. D’Odorico // Science. 2015. – V. 349. – P. 584–585. doi: 10.1126/science.aac7778.
3. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water [Текст] / WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. – Paris: UNESCO, 2018. – 139 p.
4. Gusev E.M. Inevitability and Prospects of the Use of the “Green Farming” Strategy by Humanity E.M. Gusev // Arid Ecosystems. – 2019. V.9. – N.3. – P.143–149. doi: 10.1134/S2079096119030041.
5. Sustainable Management of Water Resources in Agriculture / Paris: OECD publishing, 2010. – 120 p.
6. XII Mezhdunarodnyj forum "Zelenaya ekonomika" [XII International Forum "Green Economy"]. 21-23 May 2018. RF, S.-Peterburg. – URL: <http://biotech2030.ru/21-23-maya-2018-xii-mezhdunarodnyj-forum-zelenaya-ekonomika/>. (accessed: 05.08.2019). [in Russian]
7. Cigler G. Ekstremal'nye principy termodinamiki neobratimyykh processov i mekhanika sploshnoj sredy [Extreme principles of thermodynamics of irreversible processes and continuum mechanics] / Cigler G. – M.: Mir, 1966, 136 p. [in Russian]
8. Martyushev L.M. Princip maksimal'nosti proizvodstva entropii v fizike i smezhnykh oblastiakh [The principle of maximum production of entropy in physics and related fields] / Martyushev, L.M., Seleznev, V.D./ – Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPi, 2006, 83 p. [in Russian]
9. Delas N.I. Printsip maksimal'nosti proizvodstva entropii v evolyutsii ekosistem: nekotoryye novyye rezul'taty [Principle of maximum production of entropy in evolution of ecosystems: some new results [Text] / N.I. Delas // Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy [East European Journal of Advanced Technology]. – 2014. – V.6. – No.4 (72). – P.16–23. doi: 10.15587 / 1729-4061.2014.31345. [in Russian]
10. Prigogine I. Vvedeniye v termodinamiku neravnovesnykh protsessov [Introduction to thermodynamics of nonequilibrium processes] [Text] / I. Prigogine // M.: Publishing house of foreign literature, 1960. – 127 p. [in Russian]
11. Kommoner B. Zamykayushchiysya krug [Closing circle] [Text] / B. Kommoner // L.: Gidrometeoizdat, 1974. – 274 p. [in Russian]
12. Mareev M.A. No-till – vremya prishlo [No-till – time has come] [Electronic resource] / – URL: <http://www.tambov-apk.ru/articles/3519> (Accessed: 08.25.2019). [in Russian]
13. Hall, A. The greening of agriculture. Agricultural innovation and sustainable growth [Текст] / A. Hall, K. Dorai. – Brighton. United Kingdom: Link Limited, 2010. – 60 p.
14. Shpakovsky N.A. Evolyutsiya tekhnologii obrabotki pochvy [Evolution of soil cultivation technology] [Electronic resource] / – URL: <http://www.loplosh.ru/article/articles-about-agriculture/evolution-of-technologies-of-tillage.html> (Accessed: 06/27/2019). [in Russian]
15. Krylov C. Pochemu ne nado pakhat' zemliu [Why we should not plow ground] [Electronic resource] / – URL: <https://lavkazeta.com/otvetstvennost/pochemu-ne-nado-pakhat-zemlyu> (Accessed: 09/17/2019). [in Russian]
16. Selskokhoziaystvenniye ekosistemy Agricultural ecosystems [Text] / Ed. by L.O. Karpachevsky. – M.: Agropromizdat, 1987. – 224 p. [in Russian]
17. Gusev E.M. Resursy pochvennykh vod i ekologiya nazemnogo rastitel'nogo pokrova. Kontseptsii, eksperiment, raschety [Soil water resources and land cover ecology. Concepts, experiment, calculations] [Text] / E.M. Gusev // Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 116 p. [in Russian]
18. Schrödinger E. Chto takoye zhizn'? [What is life?] [Text] / E. Schrödinger // M.: Atomizdat, 1972. – 88 p. [in Russian]
19. Tak chto zhe bilo ran'she: obrabotka ili “nol”? [So what happened before: processing or “zero”?] [Electronic resource] / – URL: <http://agrotechnology.com/no-till/teoriya/tak-chto-zhe-bylo-ranshe-obrabotka-ili-nol> (Accessed: 08/10/2019). [in Russian]

20. Pryamoy posev: yuzhnoamerikanskaya i avstraliyskaya model' [Direct sowing: South American and Australian model] [Electronic resource] / – URL: [http://agropromizdat.ru/blog/Direct\\_seed/1029.html](http://agropromizdat.ru/blog/Direct_seed/1029.html) (Accessed: 07/18/2019). [in Russian]
21. Safin H.M. Tekhnologiya No-till v sisteme sberegayushchego zemledeliya: teoriya i praktika vnedreniya [No-till technology in system of conservation agriculture: theory and practice of implementation] [Text] / Kh.M. Safin, L.S. Schwartz, R.S. Fakhislamov // Ufa: World of the Press, 2013. – 72 p. [in Russian]
22. No-till sberegayet pochvu i den'gi krest'yanina [No-till saves the soil and money of peasants] [Electronic resource] / – URL: <https://apc-intech.ru/no-till-sberegayet-pochvu-i-dengi-krestyanin> (Accessed: 08/17/2019). [in Russian]
23. Gusev E.M. Vliyaniye razlichnykh agrotekhnologiy na formirovaniye vodnogo rezhima, urozhaynost', ekologo-energeticheskuyu i ekonomicheskuyu effektivnost' posevov pshenitsy v stepnoy i lesostepnoy zonakh Russkoy ravniny [Influence of various agricultural technologies on formation of water regime, productivity, environmental, energy and economic efficiency of wheat crops in the steppe and forest-steppe zones of Russian Plain] [Text] / E.M. Gusev, L.Ya. Jogan // Prirodoobustroystvo [Environmental Engineering]. – 2018. – No. 3. – P.81–87. doi: 10.26897/1997-6011/2018-3-81-87. [in Russian]
24. Gusev Y.M. Modelling the impact of mulching the soil with plant remains on water regime formation, crop yield and energy costs in agricultural ecosystems [Tekst] / Y.M. Gusev, L.Y. Dzhogan, O.N. Nasonova // Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 2018. – V.376. – P.77–82. doi: 10.5194/piahs-376-77-2018.
25. Gusev Ye.M. Soil Mulching as an Important Element in the Strategy of Using Natural Water Resources in Agroecosystems of the Steppe Crimea [Tekst] / Ye.M. Gusev, L.Ya. Dzhogan // Eurasian Soil Science. 2019. – V.52 – N.3. – P.313–318. doi: 10.1134/S1064229319010058.
26. Certificate of state registration of computer program No. 2019618725 MULCH. [Text] / Gusev E.M., Dzhogan L.Ya. - Rightholder: FSBI, Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences (RU); declared 06/14/19; publ. in the registry of computer programs 07/03/19. Notification about the positive result of checking the application for state reg. computer programs from 07/10/19. – 1 p. [in Russian]
27. Bulatkin G.A. Ekologo-energeticheskiye aspekty produktivnosti agrotsenozov [Ecological and energy aspects of productivity of agrocenoses] [Text] / G.A. Bulatkin // Pushchino: Institute of Soil Science and Photosynthesis, USSR Academy of Sciences, 1986. – 210 p. [in Russian]
28. Odum H.T. Simulation and evaluation with energy system blocks [Tekst] / H.T. Odum, N. Peterson // Ecological modelling. 1996. – V.93. – N.1-3. – P.155–173.
29. Gridasov I.I. Tekhnologicheskiye i ekonomicheskiye preimushchestva minimal'noy obrabotki pochvy [Technological and economical advantages of minimal tillage] [Text] / I.I. Gridasov // Zemledeliye [Agriculture]. 1997. – No. 1. – P. 6–7. [in Russian]
30. Kartamyshev N.I. Printsipy sozdaniya ekologicheskikh bezopasnykh tekhnologiy obrabotki pochvy [Principles of creating environmentally friendly technologies for soil cultivation] [Text] / N.I. Kartamyshev, I.T. Bardunova // Agroekonomicheskiye printsipy zemledeliya [Agroecological principles of agriculture] / Ed. by I.P. Makarova, A.P. Shcherbakova. – M.: Kolos, 1993. P.130–167. [in Russian]
31. Maksyutov N.A. Kogda effektivna minimal'naya obrabotka pochvy? [When minimal tillage is effective?] [Text] / N.A. Maksyutov // Zemledeliye [Agriculture]. 1998. – No. 1. – P. 24–25. [in Russian]
32. Voronovsky I.B. [Service life of agricultural machinery taking considering environmental factor] [Text] / I.B. Voronovsky // Collection of scientific works of VNAU. Economical sciences [Zbirnik naukovikh prats VNAU. Seriya: Ekonomichni nauki] – 2012. – No. 3 (69). – Volume 2. – P. 56–59. [in Russian]
33. Kazakov E.D. Biokhimiya zerna i produktov yego proizvodstva [Biochemistry of grain and products of its production] [Text] / E.D. Kazakov, V.L. Kretovich // M.: Agropromizdat, 1989. – 368 p. [in Russian]
34. Pimentel D. Zatraty energii v agroekosistemakh [Energy costs in agroecosystems] [Text] / D. Pimentel // Selskokhoziaystvenniye ekosistemy [Agricultural ecosystems] / Ed. by L.O. Karpachevsky. – M.: Agropromizdat, 1987. – P.119–132. [in Russian]
35. Sel'skokhoziaystvennyy entsiklopedicheskiy slovar' (st. Zerno) [Agricultural Encyclopedic Dictionary] (Art. Grain) [Text]. – M.: Soviet Encyclopedia, 1989. – P.163–164. [in Russian]
36. Volobuev, V.R. Vvedeniye v energetiku pochvoobrazovaniya [Introduction to energy of soil formation] [Text] / V.R. Volobuev // M.: Nauka, 1974. – 128 p. [in Russian]
37. Volobuev V.R. Otsenka produktivnosti agroprognozov s ispol'zovaniyem energeticheskikh kriteriyev [Assessment of productivity of agricultural forecasts using energy criteria] [Text] / V.R. Volobuev, L.A. Bababekova, Yu.A. Zeynalov D.G. Ponomarev, Z.K. Rasulova, P.A. Samedov // Pochvovedeniye [Soil Science]. 1982. – No. 7. – P. 83–88. [in Russian]
38. Volodin V.M. Ekologicheskiye osnovy otsenki i ispol'zovaniya plodorodiya pochv [Ecological basis for assessment and use of soil fertility] [Text] / V.M. Volodin // M.: TsINAO, 2000. – 334 p. [in Russian]
39. Afanasyeva E.A. Chernozemy Sredne-Russkoy vozvyshennosti [Chernozems of Middle Russian Upland] [Text] / E.A. Afanasyev // Moscow: Nauka, 1966. – 224 p. [in Russian]
40. Osnovy ekonomiki i organizatsii zemledeliya [Fundamentals of Economics and Organization of Agriculture] [Text] / Ed. by A.N. Kashtanova. – M.: Agropromizdat, 1988. – 268 p. [in Russian]
41. Volodin V.M. Novyye printsipy otsenki effektivnosti sistemy zemledeliya [New principles for assessing effectiveness of agricultural system] [Text] / V.M. Volodin, R.F. Eremin // Agroekonomicheskiye printsipy zemledeliya [Agroecological principles of agriculture] / Ed. by I.P. Makarova, A.P. Shcherbakova. – M.: Kolos, 1993. – P.28–40. [in Russian]
42. Real estate cadastre and monitoring of natural resources [Electronic resource] / – URL: <http://kadastr.org/conf/2011/pub/prirresurs/ocen-korm-ugodiy.htm> (Accessed: 08/22/2019).53. [in Russian]
43. Rusanov A.M. Soil as a factor of vegetation regeneration in natural pastures [Tekst] / A.M. Rusanov // Russian Journal of Ecology. 2011. – V.42. – N.1 – P. 30–37. doi: 0.1134/S1067413611010097.

44. Shcherbakov A.P. Plodorodiye pochv, krugovorot i balans pitatel'nykh veshchestv [Soil Fertility, Cycle, and Nutrient Balance] [Text] / A.P. Shcherbakov, I.D. Rudai // M.: Kolos, 1983. – 190 p. [in Russian]
45. Bobrovitskaya N.N. Empiricheskiy metod rascheta smyva pochvy so sklonov [Empirical method for calculating soil runoff from slopes] [Text] / N.N. Bobrovitskaya // Stok nanosov, yego izucheniye i geograficheskoye raspredeleniye [Sediment load, its study and geographical distribution] / Ed. by A.V. Karausheva. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – P. 202-210. [in Russian]
46. Instruksiya po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh protiverozionnykh meropriyatiy na YETS [Instructions for the determination of calculated hydrological anti-erosion measures at the UTS]. – L.: Gidrometeoizdat, 1979. – 49 p. [in Russian]
47. Eroziya pochvi [Soil erosion] [Text] / Ed. by Kirkby M.J. and Morgan R.P.S. – M.: Kolos, 1984. – 415 p. [in Russian]
48. Larionov G.A. Eroziya i deflyatsiya pochv [Soil erosion and deflation] [Text] / G.A. Larionov. // M.: Publishing. Moscow State University, 1993. – 200 p. [in Russian]
49. Eroziya pochv i usloviya protsessy. Vyp. 17 [Soil erosion and channel processes. Vol. 17] [Text] / Edited by R.S. Chalova. – M.: Geography Faculty of Moscow State University, 2010. – 268 p. [in Russian]
50. Konstantinov I.S. Zashchita pochv ot erozii pri intensivnom zemledelii [Soil protection against erosion in intensive farming] [Text] / I.S. Konstantinov // Chisinau: Shtiintsa, 1987. – 240 p. [in Russian]
51. Pochvy Kryma. Karta rasprostraneniya osnovnykh pochvennykh tipov [Soil of the Crimea. Distribution map of the main soil types] [Electronic resource] / – URL: <https://ongreenway.org/2016/02/pochvy-kryma-karta-rasprostraneniya-osnovnyx-pochvennyx-tipov/2> (Accessed: 07/05/2019). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.019>**РАСЧЕТ КОНТУРОВ УВЛАЖНЕНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПОЛИВНОЙ НОРМЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ ПЛОДНОНОСЯЩЕГО САДА В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научная статья

**Кирейчева Л.В.<sup>1,\*</sup>, Асканбек А.А.<sup>2</sup>, Нурабаев Д.М.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7114-2706;<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, Москва, Россия;<sup>2,3</sup> Таразский Государственный Университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

\* Корреспондирующий автор (kireychevalw[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье приведены расчеты по формированию контура увлажнения при капельном орошении для саженцев яблони и плодоносящего яблоневого сада на карликовом подвое, выполнено обоснование размещения капельниц, интенсивность и время подачи воды, обеспечивающее увлажнение корнеобитаемого слоя для подросших яблонь с целью поддержания влажности, соответствующей 0,7- 0,8 НВ в условиях недостаточного природного увлажнения в предгорной зоне Жамбылской области на светло-сероземных почвах. Показано, что по мере роста и развития яблонь увеличивается необходимость увлажнения корнеобитаемого слоя вдоль капельной линии до полного смыкания контуров увлажнения.

**Ключевые слова:** капельное орошение, яблоня интенсивного типа, карликовый подвой, режим увлажнения, поливная норма.

**CALCULATION OF HUMIDIFICATION PROFILE FOR SUBSTANTIATION OF IRRIGATION DEPTH FOR DRIP IRRIGATION OF THE FRUIT-BEARING GARDEN IN THE CONDITIONS OF THE SUBMONTANE ZONE OF THE JAMBYL REGION**

Research article

**Kireicheva L.V.<sup>1,\*</sup>, Askanbek A.A.<sup>2</sup>, Nurabaev D.M.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7114-2706;<sup>1</sup> All-Russia Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation of A.N. Kostyakov, Moscow, Russia;<sup>2,3</sup> M.Kh. Dulaty Taraz State University, Taraz, Kazakhstan

\* Corresponding author (kireychevalw[at]mail.ru)

**Abstract**

The article presents calculations on the formation of a humidification profile during drip irrigation for young plants of apple and apple-bearing orchard on a small-stature form of stock, substantiates the placement of droppers, the intensity and time of water supply, which provides moistening of the root layer for grown apple trees in order to maintain humidity corresponding to 0.7- 0.8 HB in conditions of insufficient natural moisture in the submontane zone of the Jambyl region on light sierozemic soils. It is shown that, as apple trees grow and develop, the necessity to moisten the root layer along the drip line increases until the humidification profile is completely closed.

**Keywords:** drip irrigation, apple tree of intensive type, a small-stature form of stock, moisture regime, irrigation depth.

**Введение**

В Республике Казахстан уровень обеспечения населения свежей яблоневого продукцией находится на низком уровне. Потребление свежих яблок в Жамбылской области в течение всего года является важным фактором поддержания здоровья местного населения, особенно детей и подростков [5, С. 15]. Кроме того, актуальным становится вопрос водообеспечения плодоводства в целом и эффективности оросительных мелиораций [9], [11]. Аридность климата, дефицит природной пресной воды стимулируют развитие малообъемного орошения садов в республике Казахстан [6]. Актуальной задачей проектирования систем капельного является определение геометрических параметров контуров увлажнения корневой системы, форма и размеры которых определяется скоростью и объемом подаваемой воды через капельницы [2, С. 137], [4 С. 6]. Исследования по изучению параметров контуров увлажнения для разных поливных норм выполняются методом расчета с учетом значительного количества факторов: степени начального увлажнения участка, типа почвы, водопроницаемости, пористости, засоленности, уплотненности почвенного профиля [3], [6, С. 40]. При выборе сорта и саженцев яблонь принимается во внимание их требования к температурным показателям и условиям увлажнения данного региона, что определяет продолжительность периода вегетации, технологию обработки почвы, сроки уборки урожая и мероприятия по уходу за садом. Также следует иметь в виду потребности рынка сбыта сортового состава продукции и получение прибыли за счет выращивания эффективных сортов [5, С. 18].

Цель работы – обоснование наилучших режимов увлажнения почвы плодоносящего яблоневого сада на карликовых подвоях при капельном способе орошения.

**Материал и методика**

Для исследований был выбран учебно-опытный полигон поливной техники Таразского государственного университета имени М.Х. Дулати, расположенный в пределах предгорной зоны Жамбылской области. Опытнo-производственный участок расположен в центральной части долины реки Талас в зоне резко континентального климата с недостаточным увлажнением, жарким сухим летом и сравнительно продолжительной холодной зимой [3].

Годовое количество осадков на равнинах до 300 мм, в предгорьях и горах от 500 - 700 до 1 000 мм. Вегетационный период составляет 205-225 дней в зависимости от конкретного года [1]. Почвы – сероземные, освоенные на покровных суглинках.

С целью изучения почвенных характеристик на опытном участке были заложены три шурфа, в которых через каждые 20 см отбирались пробы почвы. Почвы опытного участка характеризуются малым содержанием гумуса-0.02...1.42%, имеют комковато-глыбистую структуру, которая легко разрушается при механическом воздействии и увлажнении. По гранулометрическому составу почвы легко и среднесуглинистые, содержание физической глины 24.7...37.7%. Коэффициент фильтрации расчетного слоя в среднем по участку составляет 0.3 м/сут. [7, С. 71]. Особое внимание при изучении характеристик почвы опытно-производственного участка было уделено определению водно-физических свойств. В таблице 1 приведен гранулометрический состав почвы, который использовался для определения водно-физических характеристик.

Таблица 1 – Гранулометрический состав почвы опытного участка

Шурф	Горизонты, см	Содержание фракции, %								Физическая глина, %
		>1,0	1,0-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	
Ш-1	0...20	2,2	4,1	8,1	10,1	48,2	6,6	9,1	11,6	27,3
	20...40	2,4	3,8	6,3	10,6	49,7	9,1	6,3	11,8	27,2
	40...60	2,1	3,9	5,8	8,3	51,6	9,3	10,1	8,9	28,3
	60...80	3,0	2,7	5,3	8,2	52,1	9,5	10,8	8,4	28,7
	80...100	2,5	1,8	2,5	12,4	51,8	8,5	9,6	10,9	29,0
	0...100	2,4	2,7	5,9	11,4	49,3	8,6	10,3	9,4	28,3
Ш-2	0...20	2,3	3,5	3,6	15,7	47,5	9,8	8,5	9,1	27,4
	20...40	2,4	3,8	5,8	11,1	48,6	8,8	9,4	10,1	28,3
	40...60	2,7	4,6	5,2	12,4	47,6	7,3	11,1	9,1	27,5
	60...80	2,9	2,7	6,3	10,8	49,3	9,2	11,3	7,5	28,0
	80...100	2,5	3,8	4,9	17,3	42,5	8,9	10,3	9,8	29,0
	0...100	2,7	4,2	5,3	11,4	47,6	7,9	10,3	10,6	28,8
Ш-3	20...40	2,4	4,8	7,5	11,1	46,3	9,3	12,5	6,1	27,9
	40...60	2,3	4,9	6,3	11,7	47,4	9,8	10,2	7,4	27,4
	60...80	2,1	18	11,9	10,9	28,7	10,1	7,3	10,8	28,2
	80...100	2,7	12	8,6	10,2	37,4	12,7	9,5	6,4	28,6
	0...100	2,5	9,2	9,3	6,4	44,8	11,9	6,1	9,8	27,8
	0...100	2,8	7,4	9,4	14,7	38,6	10,6	9,3	7,2	27,1

Почвы опытно-производственного участка имеют плотность 1,35 г/см<sup>3</sup>, наименьшее содержание влаги (НВ) в слое 0,8 м составляет 22-24% от массы почвы, водопроницаемость в первый час - 5,3 см / час. Уровень подземных вод на участке ниже 9-11 метров и они не участвуют в формировании влажности в корнеобитаемой зоне. Почвенные условия по приведенным характеристикам подходят для применения капельного способа полива интенсивного яблоневого сада. Основные характеристики почвы, необходимые для обоснования режима орошения, представлены на рис. 1.

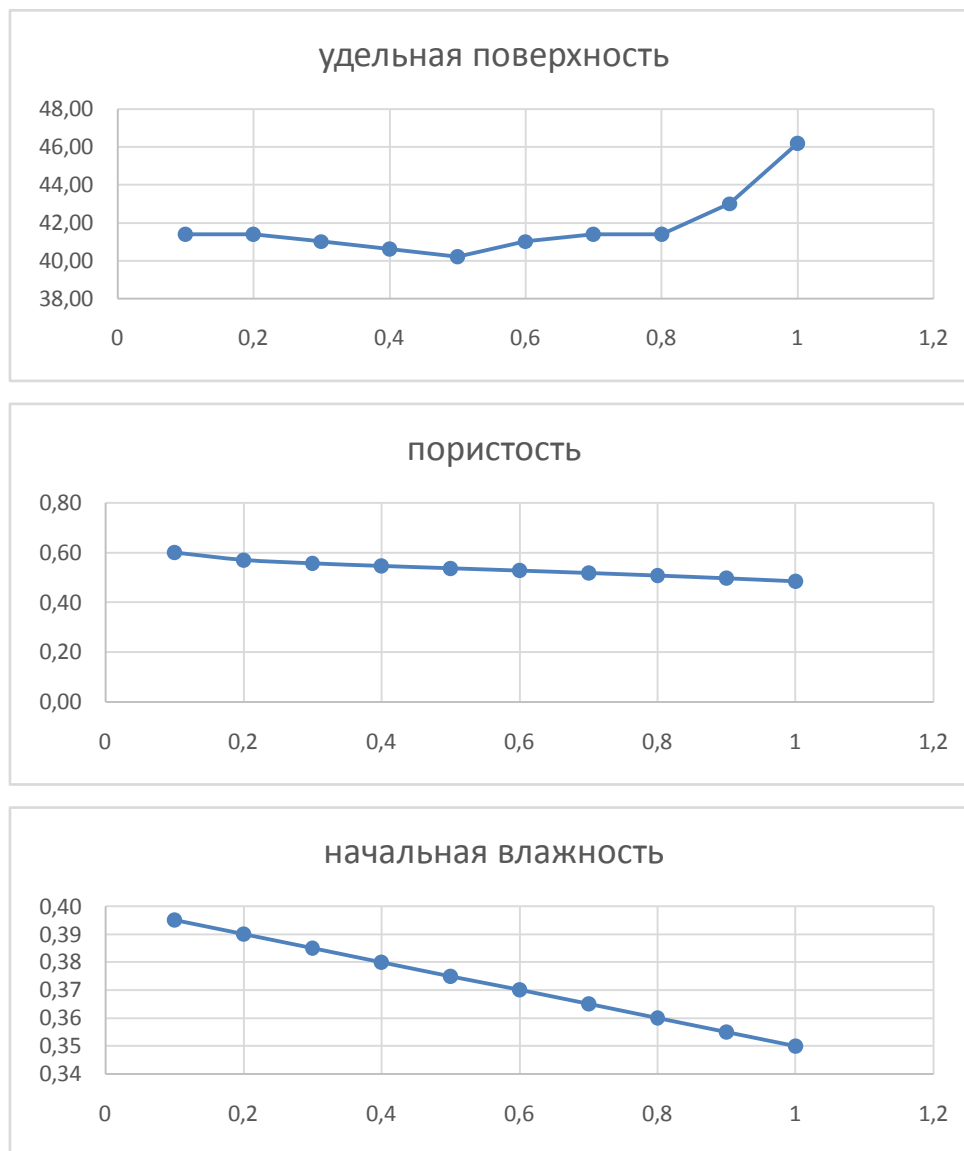


Рис. 1 – Графики распределения по глубине водно-физических характеристик почв участка

На участке в 2016 году были высажены 2-х летние саженцы на карликовых подвоях по схеме 4x2 м. Запроектированная капельная система обеспечивала подачу воды непосредственно в приствольный круг с регулируемым расходом капельницы от 2 до 15 л/час. Поливная норма в зависимости от предполивной влажности почвы 70% НВ и 80% НВ при расчетном слое увлажнении почвы 0,4 м составляла в пределах 28,9-49,3 м³/га при продолжительности полива 4,8-8,2 часа. При увлажнении почвы до глубины 0,6 м поливная норма составила 45,7-96,8 м³/га за 7,5-16,2 часов. При увлажнении 0,80 м поливная норма равнялась 86,4-145,9 м³/га, а время полива составляло 14,3-24,1 часа. Был выбран режим увлажнения при предполивной влажности 80% НВ для расчетного слоя почвы 0,40 м при норме полива 49,3 м³/га и продолжительности – 6 часов [5 С.70-72]. Поливную норму  $m$  рассчитывали по формуле:

$$m = 100H \alpha a (HB - \lambda \cdot HB), \text{ м}^3/\text{га} \quad (1)$$

где:  $H$  – глубина увлажняемого слоя, м;  $\alpha$  – плотность сложения почвы, г/см³;  $a$  – доля площади питания, подлежащая увлажнению (определялась по экспериментальным данным);  $HB$  – наименьшая влагоёмкость, % от массы абсолютно сухой травы;  $\lambda$  – коэффициент предполивной влажности почвы, соответствующей нижней границе оптимального увлажнения, в долях единицы.

#### Результаты исследований

В процессе полива при расходе капельницы 2 л/час сформировался контур увлажнения (рис. 2). За 6 часов полива глубина увлажнения составила 44,5 см, а диаметр контура 41 см. При таком расположении капельниц (через 2 м) и заданном режиме орошения, смыкания контуров увлажнения не происходило.



Рис. 2 – Контур увлажнения от одной капельницы при поддержании влажности в корневой зоне 80% НВ и заданном режиме орошения

В настоящее время сад перешел в фазу полного плодоношения, корневая система достигла 0,8 м и стала распространяться вдоль капельной линии. Для наилучшего увлажнения зрелого сада была поставлена задача обеспечить смыкание контуров увлажнения почвы в зоне максимального распространения корневой системы. Исходя из этого было рекомендовано установить дополнительные капельницы на расстоянии 0,5 м с двух сторон ствола дерева. Для обоснования режима влажности в корневой зоне при установке дополнительных капельниц были выполнены расчеты контуров увлажнения [8]. Задача распределения воды может быть описана численными методами с использованием основной гидрофизической характеристики почвы (ОГХ) и функции влагопроводности, которые зависят от гранулометрического состава почвы, что позволяет полно и однозначно детерминировать перемещение влаги [10].

Расчет выполнялся В.В. Алексеевым для следующих начальных условий, полученных на основании гранулометрического состава почв участка (рис. 1). Для автоматизации расчетов составлена и использована программа на языке визуального программирования Delphi 10. Визуализация вычислений проводилась с использованием среды GoldenSoftwareSurfer 15 [10, С.69]. Алгоритм расчета состоял в подборе расхода капельницы и времени ее работы для увлажнения требуемого слоя при смыкании контуров увлажнения. Так, при расходе капельницы 4 л/час в течение 20 часов произошло увлажнение 0,8 метрового слоя до 80% НВ по всей длине капельной линии. Выполненные расчеты по вышеприведенной программе представлены на рисунке 3.

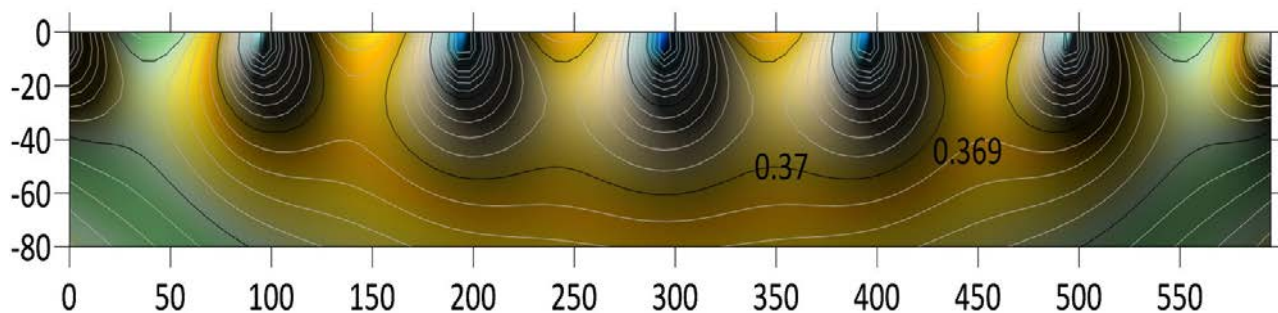


Рис. 3 – Контур увлажнения вдоль капельной линии при расположении капельниц через 0,5 м

### Заключение

Выполненные исследования по формированию контура увлажнения при поливе 2-х летних саженцев показали, что при расположении капельниц через 2 м непосредственно в приствольном круге обеспечивало увлажнение контура диаметром 0,4 м. Через 3 года для подросшего сада такого увлажнения оказалось недостаточно. Поэтому для обоснования модернизации капельной линии выполнено математическое моделирование контура увлажнения, которое позволило обосновать расположение капельниц на капельной линии через 0,5 м и разработать необходимый режим подачи воды через капельницы с интенсивностью 4 л/час. в течение 20 часов, что приведет к смыканию контуров увлажнения в зоне распространения корневой системы растений 0,8 м и, как следствие, к повышению урожая и устойчивости плодоношения.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Агроклиматический справочник по Жамбылской области Республики Казахстан. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1967. – 320 с
2. Ахмедов А.Д. Расчёт распространение влаги в почве при внутрисочвенном орошении / А.Д. Ахмедов // Основы достижения устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию образования Волгоград. гос. с.-х. акад. – Волгоград. – 2004. – С. 137-138
3. Режим орошения сельскохозяйственных культур при капельном орошении в условиях Жамбылской области республики Казахстан / Безбородов Ю.Г., Козыкеева А.Т., Кирейчева Л.В., Жатканбаева А.О. // Сборник: Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения. Материалы международной научно-практической конференции. – Москва: Изд. ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова. – 2016. – С. 159-163.
4. Новая система капельного орошения / Бальбеков Р.А., Бородычев В.В., Салдаев А.М., Дементьев А.В., Кузнецов Ю.В. // Мелиорация. – 2003. – № 4. – с. 6
5. Валовой сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в Жамбылской области: стат. обзор / Таразстат. – Тараз. – 2015. – 39 с.
6. Гричаная Т.С. Перспективы применения капельного орошения в Республике Казахстан / Гричаная Т.С. // Научные исследования в мелиорации и водном хозяйстве: Сб. науч. тр. ТОО «КазНИИВХ». – Тараз. – 2009. – Т. 46 - Вып. 1. – С. 86-91.
7. Кирейчева Л.В. Влияние капельного орошения на рост и развитие саженцев яблонь на карликовых подвоях в условиях Жамбылской области / Кирейчева Л.В., Есенгельдиева П.Н., Мусабеков К.К. // Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург. 2017. – № 02 (56), ч. 2. – С. 70-72.
8. Кирейчева Л.В. Повышение эффективности капельного орошения на легких полупустынных почвах / Кирейчева Л.В., Шуравилин А.В., Табук М.А. // Российская сельскохозяйственная наука. – Москва. – 2013. – №4. – С. 39
9. Кирейчева Л.В. Оценка эффективности оросительных мелиораций в зональном ряду почв / Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П. // Почвоведение. – Москва. – 2015. – № 5. – С. 587-590.
10. Филиппов В.П. Моделирование капельного орошения на склоновых землях / Филиппов В.П., Алексеев В.В., Чучкалов С.И. // Сб. науч. Тр. Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий. Материалы международной юбилейной научно-практической конференции. – М.: Изд. ВНИИГиМ. – 2019. – Т. 1. – С. 65-71.
11. Шумаков Б.Б. Экологические аспекты мелиорации / Шумаков Б.Б., Кирейчева Л.В. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – Москва. – 1994. – № 4. С. 46-51..

## Список литературы на английском языке /References in English

1. Agroklimatecheskii spravochnik po Jambylskoi oblasti Respubliki Kazahstan [Agroclimatic Guide to the Jambyl Region of the Republic of Kazakhstan]. – L.: Hydrometeorological Publishing House, 1967. – 320 p. [in Russian]
2. Akhmedov A.D. Raschyot rasprostraneniya vlagi v pochve pri vnutripochvennom oroshenii [Calculation of the Distribution of Moisture in Soil during Intra-soil Irrigation] / A.D. Akhmedov // Osnovy dostizheniya ustoychivogo razvitiya sel'skogo khozyaystva: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 60-letiyu obrazovaniya Volgograd. gos. s.-kh. akad [Fundamentals of Achieving Sustainable Agricultural Development: Materials of the Intern. Science-to-Practice Conf. The 60th Anniversary of Volgograd State Agric. Acad.] – Volgograd. – 2004. – P. 137-138. [in Russian]
3. Rezhim orosheniya selskokhozyaystvennykh kultur pri kapelnom oroshenii v usloviyakh Jambylskoi oblasti respubliky Kazakhstan [Irrigation Regime of Crops under Drip Irrigation in the Conditions of the Jambyl Region of the Republic of Kazakhstan] / Bezborodov Yu.G., Kozykееva A.T., Kireicheva L.V., Zhatkanbaeva A.O. // Sbornik: Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo: problemy i puti resheniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Collection: Land Reclamation and Water Management: Problems and Solutions. Materials of the International Science-to-Practice Conference.] – Moscow: Ed. AIHEL named after A.N. Kostyakov. – 2016. – P. 159-163. [in Russian]
4. Novaya sistema kapelnogo orosheniya [New Drip Irrigation System] / Balbekov R.A., Borodychev V.V., Saldaev A.M., Dementiev A.V., Kuznetsov Yu.V. // Melioratsiya [Reclamation]. – 2003. – No. 4. – p. 6 [in Russian]
5. Valovoi sbor i urozhainost selskokhozyaystvennykh kultur v Jambylskoi oblasti: stat. obzor [Gross Yield and Crop Productivity in the Jambyl Region: Stat. Overview] / Tarazstat. – Taraz. – 2015. – 39 p. [in Russian]
6. Grichanaya T.S. Perspektivy primeneniya kapelnogo orosheniya v Respublike Kazakhstan [Prospects for the Use of Drip Irrigation in the Republic of Kazakhstan] / Grichanaya T.S. // Nauchnyye issledovaniya v melioratsii i vodnom khozyaystve: Sb. nauch. tr. TOO «KazNIIVKH» [Scientific Research in Land Reclamation and Water Management: Scientific Coll. of Works KazNIIVH LLP. – Taraz. – 2009. – V. 46 - Issue. 1. – P. 86-91. [in Russian]
7. Kireicheva L.V. Vliyanie kapelnogo orosheniya na rost i razvitie sazhentsev yablon na karlikovykh podvoyakh v usloviyakh Jambylskoi oblasti [Effect of Drip Irrigation on the Growth and Development of Apple Seedlings on Small-Stature Form of Stock in the Jambyl Region] / Kireicheva L.V., Esengeldieva P.N., Musabekov K.K. // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. – Ekaterinburg. 2017. – No. 02 (56), Part 2. – P. 70-72. [in Russian]
8. Kireicheva L.V. Povyshenie effektivnosti kapelnogo orosheniya na legkikh polupustynnykh pochvakh [Improving the Efficiency of Drip Irrigation on Light Semi-Desert Soils] / Kireicheva L.V., Shuravilin A.V., Tabuk M.A. // Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka [Russian Agricultural Science]. – Moscow. – 2013. – No. 4. – P. 39 [in Russian]
9. Kireicheva L.V. Otsenka effektivnosti orositelnykh melioratsii v zonalnom ryadu pochv [Assessment of the Effectiveness of Irrigation Reclamation in the Zonal Row of Soils] / Kireicheva L.V., Karpenko N.P. // Pochvovedeniye [Soil Science]. – Moscow. – 2015. – No. 5. – P. 587-590. [in Russian]
10. Filippov V.P. Modelirovanie kapelnogo orosheniya na sklonovykh zemlyakh [Modeling Drip Irrigation on Sloping Lands] / Filippov V.P., Alekseev V.V., Chuchkalov S.I. // Sb. nauch. Tr. Problemy razvitiya sel'skokhozyaystvennykh melioratsiy i vodokhozyaystvennogo kompleksa na baze tsifrovyykh tekhnologiy. Materialy mezhdunarodnoy yubileynoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Coll. of Scientific Works. Problems of Development of Agricultural Land Reclamation and Water Management Complex based on Digital Technologies. Materials of the International Anniversary Science-to-Practice Conference]. – M.: Ed. VNIIGiM. – 2019. – V. 1. – P. 65-71. [in Russian]
11. Shumakov B.B. Ekologicheskie aspekty melioratsii [Ecological Aspects of Land Reclamation] / Shumakov B.B., Kireicheva L.V. // Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences]. – Moscow. – 1994. – No. 4. – P. 46-51. [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.020>

## СОДЕРЖАНИЕ АМИНОКИСЛОТ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ СТРАУСОВ

Научная статья

**Коротких Ю.О.\***

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

\* Корреспондирующий автор (79298132049[at]yandex.ru)

### Аннотация

В статье представлены исследования аминокислотного состава белка мяса черного африканского страуса при использовании в рационе Фелуцена П-2, на страусиной ферме «Страусиное подворье» Ростовской области. Опыт проводили на двух группах страусов: первая группа получала стандартный рацион, у второй - к стандартному рациону добавлялся Фелуцен П-2, из расчета 2 гр на 1 кг массы птицы в сутки. В результате проведенных исследований было установлено, что Фелуцен П-2 является эффективной кормовой добавкой отечественного производства, а применение предложенной схемы кормления - экономически целесообразным.

**Ключевые слова:** страус, Фелуцен П-2, мясо, незаменимые аминокислоты, заменимые аминокислоты.

## AMINO ACID CONTENT IN MUSCLE TISSUES OF OSTRICHES

Research article

**Korotkikh Yu.O.\***

Don state agrarian University, Persianovsky, Russia

\* Corresponding author (79298132049[at]yandex.ru)

### Abstract

The paper presents the study of the amino acid protein composition of meat of black African ostrich when Felucene P-2 is added to their diet, at the ostrich farm "Strausinoe Podvoriye" in the Rostov Region. The experiment was carried out on two groups of ostriches: the first group got a standard diet, and the second one got Felucene P-2 added to their standard diet, with the following rate: 2 grams per 1 kg of bird weight per day. As a result of the studies, it was found that Felucene P-2 is an effective feed additive of domestic production, and the proposed feeding scheme is economically feasible.

**Keywords:** ostrich, Felucene P-2, meat, essential amino acids, non-essential amino acids.

### Введение

Мясо африканского страуса с древних времен использовалось для кулинарных целей во многих странах мира, даже там, где страусов стали разводить совсем недавно. Мясо страуса красного цвета, по вкусу очень близко к телятине и говядине. В нем высокое содержание протеина и низкое – жира. Если раньше диетологи всего мира самым постным мясным продуктом считали индюшатину, то сейчас это место принадлежит мясу черного африканского страуса, так как оно содержит холестерина меньше, чем индюшатина. Количественно процент содержания холестерина в мясе страуса равен этому же показателю в мясе форели. [2], [5].

По сравнению с производством свинины, от одной самки страуса можно получить 4 т мяса в живой массе за сезон, от одной свиноматки – 1,5-2,5 т мяса. Причем для откорма свиней требуются в основном дорогостоящие корма, а у страусов прирост массы происходит за счет дешевых зеленых кормов и сена. По себестоимости страусятина не превышает гусятину и индюшатину [8].

По данным Л. Куликова (2002) и А.М. Сафиуллиной (2011), птица имеет ряд биологических особенностей, которые необходимо учитывать в технологии производства продуктов птицеводства. Наиболее важными особенностями сельскохозяйственной птицы являются большая плодовитость, высокая оплата корма мясом, хорошее использование кормов животного и растительного происхождения, высокая питательность мяса.

По данным С.П. Бондаренко (2009), технология выращивания страусов имеет существенные отличия от технологий выращивания других видов птиц. Это связано как с биологическими особенностями, так и со спецификой кормления и содержания страусов.

Тот факт, что при потреблении страусиного мяса снижается уровень холестерина в крови человека, усиливает рост интереса потребителей пищи животного происхождения к мясу страуса. По данным последних статистических исследований, современный уровень производства страусиного мяса намного ниже потребительского спроса на этот продукт питания. Другими словами, спрос на мясо страуса растет быстрее, чем его мировое производство [1], [4].

Аминокислоты входят в состав белков, которые служат питательными веществами, регулируют обмен веществ, способствуют поглощению кислорода, играют важную роль в функционировании нервной системы, являются механической основой мышечной ткани [11].

В процессе обмена веществ многие аминокислоты синтезируются в организме из других аминокислот или соединений и поэтому их называют заменимыми. Аминокислоты, которые не синтезируются в организме или образуются в недостаточном количестве, называют незаменимыми [6], [10].

Цель работы – изучение влияния Фелуцена П-2 на содержание аминокислот в мышечной ткани черного африканского страуса на фоне различного кормления.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводили в Донском ГАУ, на страусиной ферме «Страусиное подворье» Аксайского района Ростовской. Предметом изучения являлись черные африканские страусы.

Условия содержания страусов соответствуют отечественным и зарубежным ветеринарно-санитарным правилам и нормам.

Для кормления страусов использовали рационы, соответствующие разным возрастным периодам.

Для проведения опыта были сформированы 2 группы птенцов. Первая группа – (I) – получала стандартный рацион, вторая – (II) – кроме стандартного рациона, получала кормовую добавку Фелуцен П-2, из расчета 2 гр на 1 кг массы птицы в сутки.

Таблица 1 – Схема опыта

Группы	Количество птиц	Рацион
I- контрольная	5	Основной рацион
II – опытная	5	Основной рацион + Фелуцен П-2

Группы комплектовались из птенцов-аналогов по возрасту, живой массе, происхождению, нормально развитых, без пороков экстерьера и конституции.

В конце опыта, из каждой опытной группы, для определения содержания аминокислот в мышечной ткани, произвели убой по 5 голов страусов достигших возраста 12 месяцев.

Для изучения свойств мяса через 24 часа после убоя страусов (созревания мяса) отбирали образцы от задних конечностей туш страусов контрольной и опытной групп, согласно ГОСТу 51944–2002.

Определение аминокислотного состава белка мяса черного африканского страуса проводились по методике М-04-38-2009 (ГОСТ Р 55569-2013), с помощью системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ - 105М», имеющая специальную кассету для анализа аминокислот. Отчет выдан программой МультиХром для Windows© 1993-2007 Ampersand Ltd.

### Результаты исследований

Чтобы более глубоко изучить биологическую и пищевую ценность мяса черных африканских страусов, нами был проанализирован аминокислотный состав белков. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Аминокислотный состав мышечной ткани страусов

Аминокислоты, %	Группа	
	I	II
Незаменимые аминокислоты		
Метионин	1,11 ± 0,38	1,21 ± 0,41
Лейцин и изолейцин	2,73 ± 0,71	2,85 ± 0,74
Фенилаланин	1,95 ± 0,50	2,10 ± 0,63
Гистидин	1,28 ± 0,55	1,35 ± 0,68
Валин	1,82 ± 0,80	1,80 ± 0,72
Треонин	2,10 ± 0,60	2,19 ± 0,88
Лизин	3,81 ± 0,95	3,88 ± 1,32
Аргинин	4,33 ± 1,35	4,31 ± 1,72
Заменимые аминокислоты		
Тирозин	2,30 ± 0,53	2,28 ± 0,68
Пролин	1,21 ± 0,25	1,22 ± 0,32
Серин	2,10 ± 0,40	2,05 ± 0,53
Аланин	3,70 ± 0,76	3,74 ± 0,97
Глицин	2,37 ± 0,71	2,44 ± 0,82

Таким образом, проведенные исследования показали, что в мясе черного африканского страуса содержится большинство незаменимых кислот.

Метионин принимает активное участие в белковом, углеводном и жировом обменах, окислительно-восстановительных процессах организма, необходим для синтеза гемоглобина. Дефицит метионина в рационах птиц сопровождается потерей аппетита, атрофией мышц, ожирением печени и нарушением функции почек. В наших исследованиях страусы второй группы, в сравнении с первой, имели достоверное преимущество на 0,1%.

Лейцин и изолейцин принимают участие в синтезе белков и углеводно-жировом обмене. При недостатке изолейцина снижается усвояемость аминокислот и протеина в целом. При дефиците лейцина наблюдается отрицательный баланс азота. Анализ суммарного количества лейцина и изолейцина показал, что страусы второй группы превосходили первую на 0,12%.

Фенилаланин участвует в процессах кроветворения и образовании гормонов щитовидной железы. По количеству фенилаланина страусы второй группы заметно превосходили первую группу на 0,15%.

По количеству треонина наблюдалась подобная закономерность, вторая группа превосходила первую на 0,09%. Он участвует в обмене лейцина и углеводно-жировом обмене, активизирует усвоение других аминокислот рациона.

Дефицит треонина в рационах наблюдается редко, поскольку кукуруза, ячмень, шроты обеспечивают птицу достаточным количеством этой аминокислотой.

Страусы первой группы, в сравнении со второй, недостоверно опережали по количеству аминокислот таких, как валин, аргинин, тирозин, серин на 0,02 – 0,05%.

Следует отметить, что больше всего незаменимых аминокислот содержалось в мышечной ткани африканских страусов второй опытной группы, где с кормом применяли Фелуцен П-2. Что касается заменимых аминокислот, то в обеих группах их сумма практически не отличалась.

#### **Заключение**

Экономическая эффективность применения Фелуцена П-2, в виде кормовой добавки, составила 770,2 рублей на голову. Приведенные расчёты свидетельствуют, что включение Фелуцена П-2 в рацион черных африканских страусов целесообразно и экономически оправданно.

Хотелось бы отметить что, заниматься разведением страусов не труднее, чем разводить другую сельскохозяйственную птицу. При хорошем наблюдении за страусами и знании технологических процессов, можно достичь очень большой рентабельности производства.

#### **Конфликт интересов**

Не указан.

#### **Conflict of Interest**

None declared.

#### **Список литературы / References**

1. Балжилов И. Страусы наступают / И. Балжилов // Приусадебное хозяйство. – 1998. - №1. - С. 70.
2. Братских В.Г. Страусы и перепелки. Разведение, содержание, бизнес / В.Г. Братских, А.З. Соболев, В.Н. Нефедова//– Ростов н/Д: Феникс. -2004. - 320 с.
3. Бондаренко С.П. Разведение и выращивание страусов / С.П. Бондаренко // М.: «Феникс». – 2009. – 80 с.
4. Бутко М. П. Пищевая ценность страусятины / М. П. Бутко, В. В. Гагарин // Мясной бизнес. - 2006. - №9. - С. 90-91. - С. 91.
5. Гагарин В.В. Качественные показатели и биологическая полноценность мяса страусов / Гагарин В.В. // Ветеринарный консультант. - 2004. - № 21.- С. 22-24.
6. Кузьмичев В. Ю. Качество мяса африканского страуса / В. Ю. Кузьмичев, В. С. Колодязная // Мясная индустрия - 2008. - № 11. - С. 20-24.
7. Куликов Л. Современное состояние страусоводства в России и странах СНГ / Л. Куликов // Новости страусоводства. - 2002. - №2. - С. 3-4.
8. Микиртичев Г.А. Страусоводство – надежный источник высококачественного мяса / Г.А. Микиртичев, Н.Л. Морозов, Л.Ю. Малякина // Зоотехния. – 2011. – №2. – С.24-25.
9. Сафиуллина А.М. Перспективы развития страусоводства в России / А.М. Сафиуллина, А.М. Зигангирова // Мясная индустрия. – 2011. - № 9. – С. 56-57.
10. Устинова А. В. Мясо страуса в пищевых продуктах / А. В. Устинова, Д. А. Лазутин // Пищевая промышленность. - 2008. - №3. - С. 52-53
11. Федоров А.В. Некоторые показатели белкового обмена черных африканских страусов при использовании L-карнитина / А.В. Федоров, В.Х. Федоров // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2013. - №3(9). – С. 5-7.

#### **Список литературы на английском языке / References in English**

1. Balzhikov I. Strausy nastupayut [Ostriches are coming] / I. Balzhikov // Priusadebnoe hozyajstvo. – 1998. - №1. - P. 70. [in Russian]
2. Bratskih V.G. Strausy i perepelki. Razvedenie, sodержanie, biznes [Ostriches and quail. Breeding, keeping, business] / V.G. Bratskih, A.Z. Sobol', V.N. Nefedova//– Rostov n/D: Feniks. -2004. - 320 p. [in Russian]
3. Bondarenko S.P. Razvedenie i vyrashchivanie strausov [Breeding and growing ostriches] / S.P. Bondarenko // М.: «Feniks». – 2009. – 80 p. [in Russian]
4. Butko M. P. Pishchevaya cennost' strausyatiny [Nutritional Information of Ostrich] / M. P. Butko, V. V. Gagarin // Mjasnoj biznes. - 2006. — №9. - P. 90-91. - P. 91. [in Russian]
5. Gagarin V.V. Kachestvennye pokazateli i biologicheskaya polnocennost' myasa strausov [Quality indicators and biological value of ostrich meat] / V.V. Gagarin // Veterinarnyj konsul'tant. - 2004. - № 21.- P. 22-24. [in Russian]
6. Kuz'michev V. YU. Kachestvo myasa afrikanskogo strausa [The quality of meat of African ostrich] / V. YU. Kuz'michev, V. S. Kolodyaznaya // Mjasnaya industriya - 2008. - № 11. - P. 20-24. [in Russian]
7. Kulikov L. Sovremennoe sostoyanie strausovodstva v Rossii i stranah SNG [The current state of ostrich farming in Russia and the CIS countries] / L. Kulikov // Novosti strausovodstva. - 2002. - №2. - P. 3-4. [in Russian]
8. Mikirtichev G.A. Strausovodstvo – nadezhnyj istochnik vysokokachestvennogo myasa [Ostrich farming is a reliable source of high-quality meat] / G.A. Mikirtichev, N.L. Morozov, L.YU. Malyakina // Zootekhnika. – 2011. – №2. – P.24-25. [in Russian]
9. Safiullina A.M. Perspektivy razvitiya strausovodstva v Rossii [Prospects for the development of ostrich farming in Russia] / A.M. Safiullina, A.M. Zigangirova // Mjasnaya industriya. – 2011. - № 9. – P. 56-57. [in Russian]
10. Ustinova A. V. Myaso strausa v pishchevyh produktah [Ostrich meat in food] / A. V. Ustinova, D. A. Lazutin // Pishchevaya promyshlennost'. - 2008. - №3. - P. 52-53[in Russian]
11. Fedorov A.V. Nekotorye pokazateli belkovogo obmena chernyh afrikanskih strausov pri ispol'zovanii L-karnitina [Some indicators of protein metabolism of black African ostriches when using L-carnitine] / A.V. Fedorov, V.H. Fedorov // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. - №3(9). – P. 5-7. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.021>**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ ПОСЛЕ РАСПАШКИ ЗАЛЕЖИ ПЕРВОЙ СТАДИИ СУКЦЕССИИ**

Научная статья

**Семенова Е.И.<sup>1</sup>, Титова В.И.<sup>2</sup>, Митянин И.О.<sup>3,\*</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-9651-6372;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-0962-5309;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-8049-2409;<sup>1, 2, 3</sup> Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород, Россия

\* Корреспондирующий автор (mitjanin[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Исследования проведены на залежном участке с серыми лесными суглинистыми почвами площадью 17 га, расположенном в Первомайском районе Нижегородской области. Изучено влияние утилизации отходов спиртовой промышленности на состояние залежных земель по основным санитарно-гигиеническим показателям – содержанию валовых и подвижных соединений тяжелых металлов. Флористический состав исследуемого участка представлен интенсивно развитой сорно-рудеральной растительностью и луговыми травами. При обследовании участка были отобраны 6 объединенных почвенных проб из слоев 0-10 см и 10-30 см соответственно, каждая из которых составлена из 10 точечных. Результаты обработаны методом вариационной статистики. Изучаемая почва имеет нейтральную реакцию среды, низкое содержание гумуса и высокое и очень высокое содержание подвижных форм фосфора и калия соответственно. Значительное превышение фоновых показателей при определении валового содержания тяжелых металлов отмечено лишь у цинка в 1,9 и 1,4 раза в верхнем и нижнем слое соответственно. Содержание валовых форм тяжелых металлов на обследуемой территории существенно ниже ОДК, что свидетельствует о благоприятном санитарно-гигиеническом состоянии территории. Содержание подвижных форм тяжелых металлов при сравнении с фоном превышает его показатели у свинца и кадмия в горизонте 10-30 см, у цинка – в горизонте 0-10 см. При этом содержание подвижных форм всех тяжелых металлов значительно ниже показателей ПДК. Степень подвижности тяжелых металлов была относительно низкой по сравнению с фоновыми показателями, за исключением кадмия.

**Ключевые слова:** залежь, сукцессия, тяжелые металлы, серая лесная почва, агрохимические показатели.

**CONTENT OF HEAVY METALS IN SOIL AFTER PLOWING IN THE FIRST STAGE OF VEGETATIONAL CHANGE**

Research article

**Semenova E.I.<sup>1</sup>, Titova V.I.<sup>2</sup>, Mityanin I.O.<sup>3,\*</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-9651-6372;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-0962-5309;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-8049-2409;<sup>1, 2, 3</sup> Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

\* Corresponding author (mitjanin[at]yandex.ru)

**Abstract**

The studies were conducted on a long-kept site with gray forest clay-loam soils with an area of 17 hectares located in the Pervomaisky district of the Nizhny Novgorod region. The influence of waste disposal from alcohol industry on the state of long-kept sites was studied by the basic sanitary and hygienic indicators and namely the content of gross and mobile compounds of heavy metals. The floral composition of the study area is represented by intensively developed ruderal vegetation and meadow grasses. When examining the site, 6 combined soil samples were taken from layers of 0-10 cm and 10-30 cm, respectively, each of them composed of 10 point samples. The results are processed by the method of variation statistics. Studied soil has a neutral reaction of the medium, low humus content and high and very high content of mobile forms of phosphorus and potassium, respectively. A significant excess of background indicators in determining the gross content of heavy metals was noted only in zinc by 1.9 and 1.4 times in the upper and lower layers, respectively. The content of gross forms of heavy metals in the study area is significantly lower than the UEC, which indicates a favorable sanitary and hygienic condition of the territory. When compared with the background, the content of mobile forms of heavy metals exceeds its indicators for lead and cadmium in the horizon of 10-30 cm, for zinc – in the horizon of 0-10 cm. Moreover, the content of mobile forms of all heavy metals is much lower than the LOC. The degree of mobility of heavy metals was relatively low compared to background values, with the exception of cadmium.

**Keywords:** deposit, vegetational change, heavy metals, gray forest soil, agrochemical indicators.

**Введение**

Возврат залежных земель в активное сельхозпроизводство – одна из общегосударственных задач, способствующих рациональному использованию земель сельскохозяйственного назначения и увеличению производства кормов для животноводства [1], [2], [3]. В России в настоящее время очень много земель сельскохозяйственного назначения не используются и зарастают [4], [5]. Здесь, однако, необходимо подчеркнуть, что брошенные, необрабатываемые земли есть и в других странах. Причин этому много: ухудшения в инфраструктуре и отсутствие цивилизации [6], потеря бизнеса [7], недостаток свободных средств на поддержание активного земледелия [8] и мн.др.

Такие земли находятся на разных стадиях сукцессионного развития, при которых изменения в характеристиках почв проявляются по-разному. Так, В.Ф. Дричко с соавт. [9] отмечают изменения кислотно-основных параметров и состава гумуса, а А.В. Леднев и А.В. Дмитриев [10] – изменения основных агрохимических и агрофизических показателей. Отдельные авторы констатируют ухудшение экологического состояния почв: повышение пожароопасности [11] и значительное ухудшение фитосанитарной обстановки [12]. Многое при этом зависит от возраста залежи (стадии сукцессии), характера и условий её содержания.

Целью исследований было изучение состояния почв участка, в течение 5 лет необрабатываемого и периодически используемого для утилизации отходов спиртового производства, по основным санитарно-гигиеническим показателям – валовому содержанию и содержанию подвижных форм тяжелых металлов (ТМ).

#### Условия и методы проведения исследований

Земельный участок площадью 17 га находится в Первомайском районе Нижегородской области.

Исследуемый участок представляет собою территорию, занятую интенсивно развитой сорно-рудеральной растительностью и луговыми травами. Растительный покров неоднороден, что вызвано, в том числе, сильно выраженным микро- и мезорельефом территории. До введения данного участка в залежь на нем выращивались зерновые культуры. Почвенный покров района исследования представлен серыми лесными суглинистыми почвами, глубина пахотного горизонта составляет 30 см.

Для оценки содержания ТМ в почве и, учитывая, что верхняя часть почвенного профиля испытывает более интенсивную нагрузку, отбор проб выполнили дифференцированно: из слоя 0-10 см и 10-30 см. Отбор проб проведен в соответствии с «Методами отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» (ГОСТ 17.4.4.02-2017). Учитывая пространственную неоднородность участка, обусловленную различным рельефом его отдельных частей, а также разнообразием растительного покрова, при обследовании были выделены 6 площадок размером 0,05 га (10 x 50 м), с каждой из которых отбирали один объединенный образец, составленный из 10 прикопок. Агрохимические показатели определяли в объединенных по глубине почвы образцах (0-30 см).

Анализы выполнены в Центральной научно-методической ветеринарной лаборатории в соответствии с общепринятыми методиками: приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011), определение содержания органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91). Валовые и подвижные формы ТМ определяли в соответствии с «Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» (М., 1992, 63 с.).

При трактовке результатов использовали градации, общепринятые в агрохимической практике [13]. Результаты анализов обработаны методом вариационной статистики с определением размаха варьирования, ошибки средней арифметической и коэффициента вариации признака, а также средневзвешенного значения [14].

#### Результаты и обсуждение

Агрохимическое состояние почв участка можно охарактеризовать по данным, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимические показатели почвы, среднее по участку

Показатель	Ед. измерения	lim	$M \pm m$	V, %
Органическое вещество	%	1,0 - 3,3	<b>1,8</b> $\pm$ 0,5	58
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	мг/кг	115 - 520	<b>375</b> $\pm$ 92	49
K <sub>2</sub> O	мг/кг	148 - 282	<b>224</b> $\pm$ 32	28
pH <sub>KCl</sub>	ед. pH	6,1 - 6,7	<b>6,5</b> $\pm$ 0,1	4

Примечание: lim – размах варьирования; M – среднее значение показателя, m. – ошибка среднего, V - коэффициент вариации

Результаты анализа показывают, что почвы имеют нейтральную реакцию среды (более 6,0 единиц pH), что значительно выше значения, характерного для зональных серых лесных почв. Отмечена аномально высокая для зональных почв обеспеченность почв биогенными элементами – подвижным фосфором и калием: их содержание по существующей градации обеспеченности почв в основном приурочено к диапазону высоких и очень высоких значений. При этом имеет место значительная вариабельность результатов – по фосфору приближается к 50%, а по калию – к 30%. Вероятнее всего, что эта особенность почвенного покрова есть следствие использования территории в целях утилизации органосодержащих отходов производства местных предприятий и, прежде всего, спиртзавода, находящегося поблизости.

Нейтральная реакция среды и высокое содержание биогенных элементов являются причиной бурного развития растительности, относящейся преимущественно к сорно-рудеральным видам, произрастающим на богатых элементами питания почвах, а также к луговому разнотравью. В целом агрохимические свойства почвы характеризуются значительной вариабельностью, что, безусловно, связано с их ранее осуществленным антропогенным преобразованием из-за утилизации отходов.

Санитарно-гигиеническое состояние почв участка оценивали по содержанию тяжелых металлов (табл. 2). Известно, что в составе отходов спиртзавода (барда, фугат) обычно присутствует некоторое количество элементов данной группы. Так, используемая после- спиртовая барда имела следующие характеристики: содержание сухого вещества – 3,7 %; кислотность – 4,3 ед. pH; массовая доля примесей тяжелых металлов (в пересчете на сухое вещество): свинец – 35, кадмий – 8, цинк – 36, медь – 8, хром – 10, никель – 13, марганец – 16, кобальт – 10 мг/кг [15]. Это дает основание признать их потенциальным источником загрязнения почв, используемых для стихийной утилизации отходов.

Таблица 2 – Валовое содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг

Показатель	Слой, см	Lim	Хср. $\pm$ S <sub>хср</sub>	V, %	ОДК*	Фон**
Свинец	0-10	5,75 – 16,47	<b>10,83 <math>\pm</math> 1,87</b>	39	130	8,7
	10-30	8,53 – 28,05	<b>18,73 <math>\pm</math> 4,06</b>	48		
Кадмий	0-10	0,29 – 0,99	<b>0,67 <math>\pm</math> 0,12</b>	40	2,0	0,61
	10-30	0,59 – 0,83	<b>0,68 <math>\pm</math> 0,04</b>	15		
Медь	0-10	7,77 – 9,40	<b>8,79 <math>\pm</math> 0,27</b>	7	132	9,2
	10-30	4,55 – 5,58	<b>5,31 <math>\pm</math> 0,30</b>	13		
Цинк	0-10	37,71 – 84,58	<b>51,17 <math>\pm</math> 8,83</b>	39	220	26,6
	10-30	17,61 – 86,99	<b>38,01 <math>\pm</math> 12,45</b>	73		
Никель	0-10	7,56 – 12,34	<b>9,69 <math>\pm</math> 0,80</b>	18	80	20,8
	10-30	11,22 – 13,88	<b>12,78 <math>\pm</math> 0,44</b>	8		
Хром	0-10	3,72 – 6,94	<b>5,82 <math>\pm</math> 0,55</b>	21	90	13,2
	10-30	4,33 – 7,79	<b>5,67 <math>\pm</math> 0,62</b>	24		

Примечание: \* - ГН 2.1.7.2042-05. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве;

\*\* – по данным ФГБУ ЦАС «Нижегородский» – [16]

Содержание свинца в почвах обследованного участка во всех случаях существенно ниже ОДК, однако несколько превышает фон. При этом более высокая средняя концентрация металла обнаружена в слое 10-30 см.

Следует отметить, что фоновые концентрации тяжелых металлов для Нижегородской области устанавливаются Государственным центром агро-химической службы «Нижегородский» на основании статистически обработанных данных, полученных на реперных участках локального агроэкологического мониторинга. При этом усредненные показатели не учитывают типовые особенности почв и их разновидность. В связи с этим вполне вероятно, что анализируемые почвы по отдельным элементам будут несколько отличаться от фоновых значений в большую сторону.

Содержание кадмия в среднем находится практически на уровне фона, причем распределение его по слоям более равномерное, чем в случае со свинцом. Концентрации меди, никеля и хрома (не только средние, но и максимальные из отмеченных) ниже фоновых значений, и только содержание меди в верхнем слое превышает ее аккумуляцию в нижележащем горизонте (10-30 см).

Иная ситуация складывается в отношении цинка, коэффициент концентрации которого в среднем составляет 1,9 и 1,4 фоновые единицы в верхнем и нижнем слое соответственно. Максимальные же из отмеченных значений более чем в 3 раза превышают фон. Содержание данного элемента в среднем несколько больше в слое 0-10 см, что может свидетельствовать о привносе его извне. Коэффициент вариации концентраций значителен: около 40% в верхнем и более 70% в нижнем слое, что также является косвенным свидетельством влияния антропогенного фактора на формирование геохимической обстановки в отношении данного металла.

Таким образом, можно констатировать, что на участке с залежью, представленной сорно-рудеральной растительностью, выявлено повышенное содержание цинка, обусловленное, очевидно, влиянием антропогенной деятельности. При этом даже максимальное из отмеченных на обследуемой площади значений существенно ниже ОДК. В целом валовое содержание тяжелых металлов в почве залежи во всех случаях существенно ниже допустимых норм, что свидетельствует о благоприятном санитарно-гигиеническом состоянии обследованной территории.

Однако поступление металлов в растения зависит не столько от общей их концентрации, сколько от наличия подвижных форм (табл. 3).

Концентрация подвижных форм свинца в верхнем слое невысока, однако при переходе к нижележащему горизонту она несколько увеличивается, хотя в обоих случаях все отмеченные значения ниже ПДК. Содержание кадмия близко к фоновому уровню, а меди (даже максимум из отмеченных) – несколько ниже фона. Концентрация цинка в верхнем горизонте незначительно превышает фон, а в нижнем, напротив, меньше фона. Диапазон варьирования концентраций подвижных форм никеля и хрома полностью укладывается в низкую область значений и не превышает фоновых концентраций.

Таблица 3 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве, мг/кг

Показатель	Слой, см	Lim	Хср. $\pm$ S <sub>хср</sub>	V, %	ПДК*	Фон**
Свинец	0-10	0,49 – 0,80	<b>0,66 <math>\pm</math> 0,06</b>	19	6	1,00
	10-30	0,61 – 1,58	<b>1,15 <math>\pm</math> 0,20</b>	39		
Кадмий	0-10	0,08 – 0,27	<b>0,19 <math>\pm</math> 0,03</b>	39	-	0,20
	10-30	0,19 – 0,25	<b>0,21 <math>\pm</math> 0,01</b>	12		
Медь	0-10	0,20 – 0,27	<b>0,23 <math>\pm</math> 0,01</b>	12	3	0,30
	10-30	0,13 – 0,18	<b>0,16 <math>\pm</math> 0,01</b>	13		
Цинк	0-10	0,74 – 1,42	<b>0,97 <math>\pm</math> 0,12</b>	29	23	0,90
	10-30	0,57 – 1,37	<b>0,77 <math>\pm</math> 0,15</b>	44		
Никель	0-10	0,51 – 0,64	<b>0,57 <math>\pm</math> 0,03</b>	10	4	1,50
	10-30	0,62 – 0,75	<b>0,69 <math>\pm</math> 0,02</b>	7		
Хром	0-10	0,08 – 0,15	<b>0,12 <math>\pm</math> 0,01</b>	21	6	0,50
	10-30	0,10 – 0,16	<b>0,13 <math>\pm</math> 0,01</b>	20		

Примечание: \* - ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве;

\*\* – по данным ФГБУ ЦАС «Нижегородский» – [16]

Дополнительным показателем, широко используемым при оценке санитарно-гигиенического состояния территории, является степень подвижности металлов, которая определяется как доля подвижных форм от валового содержания, выраженная в процентах. Значение данной характеристики во многом обусловлено содержанием гумуса в почве, ее кислотностью, гранулометрическим составом и т.д. Даже периодическая утилизация отходов на участке, изменяя ряд названных свойств, может влиять на подвижность металлов как повышая, так и понижая ее.

Результаты свидетельствуют, что подвижность тяжелых металлов в почве залежного участка является низкой (табл. 4).

Таблица 4 – Степень подвижности тяжелых металлов в почве, %

Показатель	Слой, см	Lim	Хср. $\pm$ S <sub>хср</sub>	V, %	Фон
Свинец	0-10	4,9 – 8,5	<b>6,5 <math>\pm</math> 0,7</b>	23	11,5
	10-30	5,6 – 7,4	<b>6,5 <math>\pm</math> 0,4</b>	13	
Кадмий	0-10	27,3 – 29,5	<b>28,1 <math>\pm</math> 0,4</b>	3	32,8
	10-30	30,3 – 34,2	<b>31,0 <math>\pm</math> 1,3</b>	9	
Медь	0-10	2,2 – 2,9	<b>2,6 <math>\pm</math> 0,1</b>	10	3,3
	10-30	2,8 – 3,1	<b>2,9 <math>\pm</math> 0,1</b>	5	
Цинк	0-10	1,7 – 2,1	<b>1,9 <math>\pm</math> 0,1</b>	8	3,4
	10-30	1,6 – 3,2	<b>2,3 <math>\pm</math> 0,3</b>	26	
Никель	0-10	5,2 – 6,7	<b>6,0 <math>\pm</math> 0,3</b>	12	7,2
	10-30	5,0 – 5,6	<b>5,4 <math>\pm</math> 0,1</b>	4	
Хром	0-10	1,9 – 2,4	<b>2,4 <math>\pm</math> 0,1</b>	9	3,8
	10-30	2,1 – 2,5	<b>2,3 <math>\pm</math> 0,1</b>	9	

Так, степень подвижности свинца, несмотря на различие средних концентраций, одинакова в обоих слоях и фактически вдвое ниже подвижности, наблюдаемой на фоновых участках. Кадмий в силу своей химической природы является самым подвижным металлом. Как правило, степень его подвижности связана с изменениями реакции среды почвы, в кислой среде он более подвижен, чем в нейтральной. Так как pH почвы между верхним и нижним слоями не отличаются, то и подвижность кадмия в обоих слоях практически одинакова и близка к фону.

Обращает на себя внимание низкая степень подвижности цинка в почве. Обычно на фоне увеличения концентраций происходит возрастание доли подвижных форм относительно вала. В конкретном случае наблюдается иная картина: на фоне повышенного по сравнению с фоном содержания металла, его подвижность заметно снижена. Данный факт может быть следствием известной связи: фосфор образует с цинком устойчивые нерастворимые в почве соединения, количество которых с возрастанием концентрации фосфора увеличивается, а степень подвижности цинка, соответственно, снижается.

#### Заключение

Установлено, что залежь первой стадии сукцессии на участке, где периодически в течение 5 лет утилизировались отходы спиртоводочной про-мышленности, представлена сорно-рудеральной растительностью и луговыми травами.

Агрохимические свойства серой лесной суглинистой почвы залежи характеризуются значительной вариабельностью: содержание органического вещества в пределах участка изменяется более чем в 3 раза (от 1,0 до 3,3%), по содержанию подвижных соединений фосфора и калия почвы характеризуются высокими и очень высокими значениями с коэффициентом вариации около 50 и 30% соответственно.

Результаты определения содержания тяжелых металлов в почве и степени их подвижности свидетельствуют о благоприятной санитарно-гигиенической обстановке на залежном участке перед его распахкой. Валовое содержание и содержание подвижных соединений свинца, кадмия, меди, цинка, никеля и хрома ниже контролируемых предельных значений (ОДК и ПДК соответственно) и их фонового содержания в серых лесных суглинистых почвах Правобережья Нижегородской области.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

- Бедарева, О.М. Освоение залежей под луговые и пастбищные угодья / О.М. Бедарева, Т.Н. Троян, Л.С. Мурачева, О.А. Анциферова, О.П. Федюнина, Г.В. Горшнина // Научный журнал «Известия КГТУ». – 2017. – № 46. – С. 109-120.
- Иванов, А.И. Насущные проблемы вторичного освоения выведенных из оборота земель в условиях Нечерноземья / А.И. Иванов, И.В. Соколов // Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации. Материалы международной научно-практической конференции 24-25 октября 2018 г. – М.: Изд. ВНИИГиМ. – 2019. – С. 162-166.
- Иванов, А.Л. Ресурсный потенциал земель России для развития растениеводства / А.Л. Иванов, И.Ю. Савин, В.С. Столбовой // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 473. – № 2. – С. 218-221.
- Амелин А.В. Состояние почвенного плодородия земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота в Орловской области / А.В. Амелин, В.М. Казьмин, И.А. Рыжов, Н.И. Абакумов // Агрохимический вестник. – 2013. – №3. – С. 15-17.
- Денисов Ю.Н. Агроэкологическая оценка залежных почв Челябинской области./ Ю.Н. Денисов // Агрохимический вестник. – 2016. – №5. – С. 6-9.

6. Muller, D. Changing Rural Landscapes in Albania: Cropland Abandonment and Forest Clearing in the Postsocialist Transition / D. Muller, D.K. Munroe // *Annals of the Association of American Geographers*. – 2008. – Vol. 98. – Pp. 855-876.
7. Prishchepov, A.V. Effects of Institutional Changes on Land Use: Agricultural Land Abandonment During the Transition From State-Command to Market-Driven Economies in Post-Soviet Eastern Europe / A.V. Prishchepov, V.C. Radeloff, M. Baumann, T. Kuemmerle, D. Muller // *Environmental Research Letters*. – 2012. – Vol. 7. 024021.
8. Lambin, E.F. Global Land-Use Change, Economic Globalization, and the Looming Land Scarcity / E. F. Lambin, P. Meyfroidt // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2011. – № 108. – Pp. 3465-3472.
9. Дричко В.Ф. Скорости изменения кислотно-основных параметров, содержания общего углерода и состава гумуса в дерново-подзолистой песчаной почве при переходе от пашни к лесу при сукцессии залежных земель. / В.Ф. Дричко, А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, Д.В. Чернов, В.М. Буре // *Агрохимия*. – 2015. – №11. – С. 19-29.
10. Леднев А.В. Влияние периода зарастания на изменение агрофизических показателей различных типов почв, расположенных на аккумулятивном направлении вещественно-энергетического потока / А.В. Леднев, А.В. Дмитриев // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2017. – №2(57). – С. 28-34.
11. Dubinin, M. Reconstructing Long Time Series of Burned Areas in Arid Grasslands of Southern Russia by Satellite Remote Sensing / M. Dubinin, P. Potapov, A. Lushchekina, V.C. Radeloff // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – № 114. – Pp. 1638-1648.
12. Соловьев, С.В. Сукцессия на молодых и средневозрастных залежах лесостепной зоны Западной Сибири в пределах Новосибирской области / С.В. Соловьев, Г.Ф. Миллер, А.Н. Безбородова, Д.А. Филимонова // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2018. – № 10. – С.116-120.
13. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ВНИИА, 2003. – 195 с.
14. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е.А. Дмитриев. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 320 с.
15. Дабахова Е.В. Влияние возрастающих доз барды послеспиртовой на содержание тяжелых металлов в почве и растительной продукции / Е.В. Дабахова, В.И. Титова, Н.А. Корченкина // *Достижения науки и техники АПК*. – 2014. – № 10. – С. 31-33.
16. Шафронов О.Д. Геологическая основа формирования фона тяжелых металлов в почвах Нижегородчины (словарь-справочник) / О.Д. Шафронов, В.Н. Полухин, В.И. Титова, Р.С. Борисова. – Н.Новгород, 2003. – 63 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Bedareva O.M. Osvoenie zalezhej pod lugovye i pastbishchnye ugod'ya [Development of deposits for meadow and pasture] / O.M. Bedareva, T.N. Troyan, L.S. Muracheva, O.A. Antsiferova, O.P. Fedyunina, G.V. Gorshina // *Scientific journal "Izvestia KSTU"*. – 2017. – No. 46. – P. 109-120. [in Russian]
2. Ivanov A.I. Nasushchnye problemy vtorichnogo osvoeniya vyvedennyh iz oborota zemel' v usloviyah Nechernozem'ya [Urgent problems of the secondary development of land withdrawn from circulation in the conditions of the Non-Chernozem region] / A.I. Ivanov, I.V. Sokolov // Land reclamation is an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-chernozem zone of the Russian Federation. Materials of the international scientific and practical conference October 24-25, 2018 - M.: Publishing House. VNIIGiM. - 2019. -- P. 162-166.
3. Ivanov A.L. Resursnyj potencial zemel' Rossii dlya razvitiya rastenievodstva [The resource potential of Russian lands for the development of crop production] / A.L. Ivanov, I.Yu. Savin, V.S. Stolbovoy // *Reports of the Academy of Sciences*. – 2017. -- T.473. – No. 2. – P. 218-221.
4. Amelin A.V. Sostoyanie pochvennogo plodorodiya zemel', vyvedennyh iz sel'skhozajstvennogo oborota v Orlovskoj oblasti [The condition of soil fertility of lands withdrawn from agricultural circulation in the Oryol region] / A.V. Amelin, V.M. Kazmin, I.A. Ryzhov, N.I. Abakumov // *Agrochemical Bulletin*. – 2013. – No. 3. – P. 15-17.
5. Denisov Yu.N. Agroekologicheskaya ocenka zaleznyh pochv CHelyabinskoy oblasti [Agroecological assessment of fallow soils of the Chelyabinsk region] / Yu.N. Denisov // *Agrochemical Bulletin*. – 2016. – №5. – P. 6-9.
6. Muller D. Changing Rural Landscapes in Albania: Cropland Abandonment and Forest Clearing in the Postsocialist Transition / D. Muller, D.K. Munroe // *Annals of the Association of American Geographers*. – 2008. – Vol. 98. – Pp. 855-876.
7. Prishchepov, A.V. Effects of Institutional Changes on Land Use: Agricultural Land Abandonment During the Transition From State-Command to Market-Driven Economies in Post-Soviet Eastern Europe / A.V. Prishchepov, V.C. Radeloff, M. Baumann, T. Kuemmerle, D. Muller // *Environmental Research Letters*. – 2012. – Vol. 7. 024021.
8. Lambin E.F. Global Land-Use Change, Economic Globalization, and the Looming Land Scarcity / E. F. Lambin, P. Meyfroidt // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2011. – № 108. – Pp. 3465-3472.
9. Drichko V.F. Skorosti izmeneniya kislотно-osnovnyh parametrov, soderzhaniya obshchego ugleroda i sostava gumusa v dernovo-podzolistoj peschanoy pochve pri perekhode ot pashni k lesu pri sukcesii zaleznyh zemel' [The rate of change of acid-base parameters, total carbon content and humus composition in sod-podzolic sandy soil during the transition from arable land to forest during succession of fallow lands] / V.F. Drichko, A.V. Litvinovich, O.Yu. Pavlova, D.V. Chernov, V.M. Bure // *Agricultural chemistry*. – 2015. – No. 11. – P. 19-29.
10. Lednev A.V. Vliyanie perioda zarastaniya na izmenenie agrofizicheskikh pokazatelej razlichnyh tipov pochv, raspolozhennyh na akumulativnom napravlenii veshchestvenno-energeticheskogo potoka [The influence of the overgrowing period on the change in geophysical indicators of various types of soils located on the accumulative direction of the material-energy flow] / A.V. Lednev, A.V. Dmitriev // *Agricultural science of the Euro-North-East*. – 2017. – No. 2 (57). – P. 28-34.
11. Dubinin M. Reconstructing Long Time Series of Burned Areas in Arid Grasslands of Southern Russia by Satellite Remote Sensing / M. Dubinin, P. Potapov, A. Lushchekina, V.C. Radeloff // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – № 114. – Pp. 1638-1648.
12. Soloviev S.V. Sukcessiya na molodyh i srednevozrastnyh zalezah lesostepnoj zony Zapadnoj Sibiri v predelah Novosibirskoj oblasti [Succession in young and middle-aged deposits of the forest-steppe zone of Western Siberia within the



Novosibirsk region] / S.V. Soloviev, G.F. Miller, A.N. Bezborodova D.A. Filimonova // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2018. - No. 10. – P.116-120.

13. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Guidelines for the comprehensive monitoring of the fertility of agricultural land]. - M.: VNIIA, 2003 . – 195 p.

14. Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii [Mathematical statistics in soil science] / E.A. Dmitriev. - M.: Publishing House of Moscow State University, 1995 .– 320 p.

15. Dabakhova E.V. Vliyaniye vozrastayushchih doz bardy poslespirtovoj na sodержание tyazhelyh metallov v pochve i rastitel'noj produkcii [The effect of increasing doses of post-alcohol stillage on the content of heavy metals in soil and plant products] / E.V. Dabakhova, V.I. Titova, N.A. Korchenkina // Achievements of science and technology of agribusiness. – 2014. – No. 10. – P. 31-33.

16. Shafronov O.D. Geologicheskaya osnova formirovaniya fona tyazhelyh metallov v pochvah Nizhegorodchiny (slovar'-spravochnik) [The geological basis for the formation of the background of heavy metals in the soils of the Nizhny Novgorod region (reference dictionary)] / O.D. Shafronov, V.N. Polukhin, V.I. Titova, R.S. Borisov. – N. Novgorod, 2003 . – 63 p.