

№ 4 (82) ▪ 2019  
Часть 1 ▪ Апрель

---

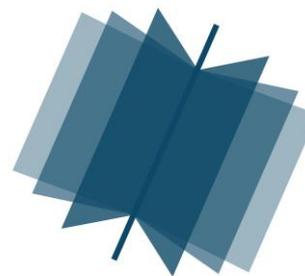
**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

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

Екатеринбург  
2019



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+

**№ 4 (82) 2019  
Часть 1  
Апрель**

Дата выхода 25.04.2019  
Подписано в печать 18.04.2019  
Тираж 200 экз.  
Цена: бесплатно.  
Заказ 28510.  
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: **ПИ № 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 (Нижегород, Россия);  
*Федорова Е.А.* д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижегород, 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);  
*Лукьянова 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);  
*Брылев 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);  
*Мещереякова О.М.* д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);  
*Ергашев Е.Р.* д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

**Сельскохозяйственные науки:**

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

**Социологические науки:**

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

**Химические науки:**

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

**Науки о Земле:**

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

**Экономические науки:**

*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).

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

---

Аширбаева А.Ж., Садыкова Г.К. РАЗВИТИЕ МЕТОДА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО АРГУМЕНТА ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ .....	6
Гаджиев Ф.Г., Гулузаде Ф.И. АЛГОРИТМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ .....	11
Горыня Е.В., Колпак Е.П. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНКУРЕНЦИИ НА ТРОФИЧЕСКОМ РЕСУРСЕ.....	14
Федоров В.М. О НАИЛУЧШЕЙ АППРОКСИМАЦИИ АБСОЛЮТНО МОНОТОННЫМИ ФУНКЦИЯМИ НА ПОЛУОСИ ..	23
Маничева И.Н., Филиппов Д.А., Лалетин В.М. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ТРЕХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЕ НИКЕЛЬ – КВАРЦ – НИКЕЛЬ ..	27
Богданов А.Е., Торшина О.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ .....	33

---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

---

Котлярова Е.В., Высоцкий О.П. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСТНИЧНО-ЛИФТОВЫХ УЗЛОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ .....	39
Лежнева Н.В., Галеев Э.Р. РАСЧЕТ В ТЕКУЩЕМ РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТИЛКАУЧУКА .....	43
Логунов В.П., Мельников В.А., Шокалюк В.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЛОТ РДС И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ БУРЕНИЯ В КАРБОНАТНЫХ И ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОДАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ .....	47
Поляничко М.А. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ЗРЕЛОСТИ ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИНСАЙДЕРСКИМ УГРОЗАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	57

---

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

---

Еранская Т.Ю. КАВИТАЦИОННОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ КАОЛИНА В КИСЛОТНОМ РАСТВОРЕ.....	60
Лебедев И.Ф. ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТОВ ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ.....	65
Мамась Н.Н., Гончаров В.Г. СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВОКРУГ ООО «ПАШКОВСКИЙ ХЛЕБОЗАВОД» .....	69
Нанишвили О.А., Пермин Д.Д., Самойлов В.Р. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ОБРАБОТКАМИ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН ПОТООТКЛОНЯЮЩИМИ СОСТАВАМИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «Х» .....	72

---

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

---

Гаджиева К.А. ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ ГЕНОТИПОВ ВИРУСА ПАПИЛЛОМЫ ЧЕЛОВЕКА ОНКОГЕННОГО РИСК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕТРОСПЕКТИВНОГО И ПРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗОВ ПО г.БАКУ .....	78
Карнаухов Г.И. БИОЦЕНОЗЫ НЕКОТОРЫХ ЧЕРНОМОРСКИХ РЕК.....	82
Пак Л.Н. БИОРАЗНООБРАЗИЕ ТЕМНОХВОЙНОЙ ТАЙГИ БАСЕЙНА РЕКИ АЦА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ) .....	86

---

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY**

---

<b>Авшистер О.Д.</b> <b>НАУЧНАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ Л.Е. ОЛИФСОНА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ</b> <b>ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ .....</b>	<b>93</b>
---	-----------

---

**МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE**

---

<b>Швец И. , Пантеа В., Гинда С., Михальчук О., Цапков В., Аурелиан Г., Гудумак В.</b> <b>ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ НОВЫХ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ НА ПОКАЗАТЕЛИ</b> <b>ГЕМОГРАММЫ У КРЫС .....</b>	<b>98</b>
--	-----------

<b>Караваева А.В., Аймакаева Ж.М., Дробкова А.В.</b> <b>К ВОПРОСАМ КЛИНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГАЛЯЦИОННОЙ АНЕСТЕЗИИ ПРИ</b> <b>ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ ТРАВМАХ У ДЕТЕЙ. ....</b>	<b>103</b>
--	------------

<b>Муратов А.А., Туйбаев З.А., Кутуев Ж.А., Кушанов А.А., Жолдошев С.А.</b> <b>АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ СОЧЕТАННЫХ РАНЕНИЙ.....</b>	<b>106</b>
--	------------

<b>Омаров Т.С., Мустафин Р.А., Бакиров А.Ж., Югай Л.А.</b> <b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ</b> <b>ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ У ПАЦИЕНТОВ С ТЯЖЕЛОЙ ПНЕВМОНИЕЙ.....</b>	<b>110</b>
--	------------

<b>Солонский А.В.</b> <b>УЛЬТРАМИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЯДЕРНЫХ СТРУКТУР НЕЙРОБЛАСТОВ И</b> <b>ГЛИОБЛАСТОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И В УСЛОВИЯХ</b> <b>ПРЕНАТАЛЬНОЙ АЛКОГОЛИЗАЦИИ МАТЕРИ.....</b>	<b>114</b>
---	------------

<b>Трушин А. Ю.</b> <b>ТРАСТУЗУМАБ-ИНДУЦИРОВАННАЯ КАРДИТОКСИЧНОСТЬ – МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ</b> <b>ПРОБЛЕМА СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЫ .....</b>	<b>118</b>
---	------------

<b>Чаулин А.М., Мазаев А.Ю., Александров А.Г.</b> <b>РОЛЬ ПРОПРТЕИН КОНВЕРТАЗЫ СУБТИЛИЗИН/КЕКСИН ТИПА 9 (PCSK-9) В МЕТАБОЛИЗМЕ</b> <b>ХОЛЕСТЕРИНА И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛИПИДКОРРИГУЮЩЕЙ ТЕРАПИИ.....</b>	<b>124</b>
---	------------

---

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES**

---

<b>Анисимова Т.Ю.</b> <b>ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТОРФА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ</b> <b>КУЛЬТУР ЗЕРНОПРОПАШНОГО СЕВООБОРОТА.....</b>	<b>127</b>
---	------------

<b>Рахимжанов А.Н., Залесов С.В.</b> <b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМЕСИ МЕЛИОРАНТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА</b> <b><i>RIBES AUREUM</i> PURSH. В СТЕПНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА</b> <b>(НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНОГО ПИТОМНИКА «АК КАЙЫН») .....</b>	<b>130</b>
---	------------

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.001>

## РАЗВИТИЕ МЕТОДА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО АРГУМЕНТА ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Обзор

Аширбаева А.Ж.<sup>1,\*</sup>, Садыкова Г.К.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7706-0608,<sup>1</sup> Ошский технологический университет имени академика М.М. Адышева, Ош, Киргизия;<sup>2</sup> Ошский государственный университет, Ош, Киргизия

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

**Аннотация**

В работе рассматривается начальная задача для систем уравнений и для решения задачи используется развитая методика дополнительного аргумента. Дается обзор известных результатов по рассматриваемому методу и на их основе обоснована степень актуальности исследуемой задачи. Поставленная начальная задача при использовании определенных классов функций сводится к системе интегральных уравнений. Такая развитая методика исследования могут применяться для доказательства существования решения новых видов векторно-матричных нелинейных уравнений.

**Ключевые слова:** система уравнений в частных производных, начальные условия, дополнительный аргумент, принцип сжимающих отображений.

## DEVELOPMENT OF THE METHOD OF ADDITIONAL ARGUMENT FOR A SYSTEM OF NON-LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS

Review

Ashirbaeva A.Zh.<sup>1,\*</sup>, Sadykova G.K.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7706-0608,<sup>1</sup> Osh Technological University named after M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyz Republic;<sup>2</sup> Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic

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

**Abstract**

The paper considers the initial problem for systems of equations and uses the developed method of additional argument to solve the problem. A review of the known results on the method under consideration is presented, and the degree of relevance of the problem under study is substantiated on their basis. The stated initial problem is reduced to a system of integral equations when using certain classes of functions. This developed research technique can be used to prove the existence of a solution to new types of vector-matrix non-linear equations.

**Keywords:** a system of partial differential equations, initial conditions, an additional argument, the principle of contraction mappings.

**Введение**

В настоящее время метод дополнительного аргумента (МДА) развивается для систем нелинейных уравнений в частных производных (в.ч.п.) [4, С. 410-414], [5, С. 17-23], [10, С. 111-115], [11, С.6-10].

В [1, С. 55-100] изложены в усовершенствованном виде основы МДА.

Аксиоматические основы МДА были выявлены в [2, С. 30-34].

В [3, С.37-40,8, С. 164] проведены компьютерные реализации МДА.

Построена общая схема МДА при исследовании широкого класса начальных задач для нелинейных операторно-дифференциальных уравнений [9, С. 12-24]. Показана применимость этой схемы для различных конкретных типов уравнений, второго, третьего, четвертого, а также произвольного порядка [9, С. 52-76], в конце обобщается для уравнений со многими пространственными переменными [9, С. 91-123].

Используя МДА исследованы уравнения типа Кортевега-де Фриза, а также нелинейные волновые уравнения. в ч.п. [6, С. 543-546], [7, С. 17-19].

**Постановка задачи**

Рассматривается начальная задача для системы дифференциальных уравнений в частных производных (ДУ в ЧП):

$$\frac{\partial u_i(t, x)}{\partial t} + a(t, x, u_1(t, x), \dots, u_n(t, x)) \frac{\partial u_i(t, x)}{\partial x} = f_i(t, x, u_1(t, x), u_2(t, x), \dots, u_n(t, x)), \quad (1)$$

$$(t, x) \in Q_1(T) = [0, T] \times R,$$

$$u_i(0, x) = \phi_i(x), \quad x \in R, i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Используем классы функций, приведенные в [11] и следующее обозначение:

$$Q_n(T) = \{(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, x) \mid 0 \leq t_1 \leq t_2 \leq t_3 \leq \dots \leq t_n \leq T, x \in R\}.$$

Использование МДА для систем ДУ в ЧП вида (1), рассматривается впервые.

*Теорема.* Для  $i=1,2,\dots,n$ ,  $\varphi_i(x) \in \bar{C}^{-1}(R) \cap Lip(L_i)$ ,  $L_i > 0 - const$ ,

$$f_i(t, x, u_1, u_2, \dots, u_n) \in \bar{C}^{(1)}(Q_1(T) \times R^n) \cap Lip(M_0^i|_x, M_1^i|_{u_1}, \dots, M_n^i|_{u_n}), M_j^i > 0 - const,$$

$$a(t, x, u_1, \dots, u_n) \in \bar{C}^{(1)}(Q_1(T) \times R^n) \cap Lip(N_0|_x, N_1|_{u_1}, \dots, N_n|_{u_n}), N_i > 0 - const.$$

Тогда существует такое  $0 < T_* \leq T$ , что система ДУ в ЧП (1) с начальным условием (НУ) (2) имеет единственное решение в  $(\bar{C}^{(1)}(Q_1(T_*)))^n$ .

*Доказательство*

Обозначим через  $\bar{C}_x^{(1)}(Q_2(T))$  пространство таких функций  $q(s, \tau, x)$ , из  $C^{(1)}(Q_2(T))$ , что  $q(s, \tau, x) - x \in \bar{C}^{(1)}(Q_2(T))$ .

1. ДУ в ЧП (1) с НУ (2) в пространстве  $\bar{C}^{(1)}(Q_1(T_*))$  эквивалентно системе интегральных уравнений (ИУ):

$$u_i(t, x) = \varphi_i(q(0, t, x)) +$$

$$+ \int_0^t f_i(v, q(v, t, x), u_1(v, q(v, t, x)), u_2(v, q(v, t, x)), \dots, u_n(v, q(v, t, x))) dv, \quad (3)$$

$$q(s, t, x) = x - \int_s^t a(v, q(v, t, x), u_1(v, q(v, t, x)), \dots, u_n(v, q(v, t, x))) dv, \quad (4)$$

$$(s, t, x) \in Q_2(T), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

в пространстве  $\bar{C}_x^{(1)}(Q_2(T)) \times (\bar{C}^{(1)}(Q_1(T_*)))^n$ .

В самом деле, применяя МДА для ДУ в ЧП (1) с НУ (2), сводим задачу к системе ИУ (3), (4).

Пусть теперь  $u_i(t, x)$ ,  $q(s, t, x)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  - решение системы ИУ (3), (4).

Тогда  $u_i(t, x)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , удовлетворяют уравнению (1) и НУ (2).

В самом деле, из (3), (4) имеем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i(t, x)}{\partial t} + a(t, x, u_1, \dots, u_n) \frac{\partial u_i(t, x)}{\partial x} &= \phi_i'(q(0, t, x)) \left[ \frac{\partial q(0, t, x)}{\partial t} + a(t, x, u_1, \dots, u_n) \frac{\partial q(0, t, x)}{\partial x} \right] + \\ &+ \int_0^t [f_{ix} + f_{i_{u_1}} u_{1x} + \dots + f_{i_{u_n}} u_{nx}] \left[ \frac{\partial q(v, t, x)}{\partial t} + a(t, x, u_1, \dots, u_n) \frac{\partial q(v, t, x)}{\partial x} \right] dv + \\ &+ f_i(t, x, u_1(t, x), u_2(t, x), \dots, u_n(t, x)), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q(s, t, x)}{\partial t} + a(t, x, u_1, \dots, u_n) \frac{\partial q(s, t, x)}{\partial x} &= - \int_s^t \left[ a_x + \sum_{i=1}^n a_{u_i} u_{ix} \right] \times \\ &\times \left[ \frac{\partial q(v, t, x)}{\partial t} + a(t, x, u_1, \dots, u_n) \frac{\partial q(v, t, x)}{\partial x} \right] dv, \end{aligned} \quad (6)$$

Для всякой функции  $a(t, x, u_1, \dots, u_n) \in \bar{C}^{(1)}(Q_1(T) \times R^n)$  из ИУ (6) имеем

$$\frac{\partial q(s, t, x)}{\partial t} + a(t, x, u_1, \dots, u_n) \frac{\partial q(s, t, x)}{\partial x} = 0, \quad q(s, s, x) = x, \quad (s, t, x) \in Q_2(T).$$

Следовательно, из равенства (5) получается уравнение (1).

2. Система ИУ (3), (4) имеет единственное решение.

Преобразуем ИУ (3).

В системе ИУ (3), (4) как в [9] заменяем  $x$  на  $q(t, \tau, x)$ ,  $\tau \geq t$ :

$$u_i(t, q(t, \tau, x)) = \varphi_i(q(0, t, q(t, \tau, x))) +$$

$$+ \int_0^t f_i(v, q(v, t, q(t, \tau, x)), u_1(v, q(v, t, q(t, \tau, x))), u_2(v, q(v, t, q(t, \tau, x))), \dots, u_n(v, q(v, t, q(t, \tau, x)))) dv,$$

$$(t, \tau, x) \in Q_2(T), \tag{7}$$

$$q(s, t, q(t, \tau, x)) = q(t, \tau, x) - \int_s^t a(v, q(v, t, q(t, \tau, x)), u_1(v, q(v, t, q(t, \tau, x))), \dots, u_n(v, q(v, t, q(t, \tau, x)))) dv,$$

$$(s, t, \tau, x) \in Q_3(T). \tag{8}$$

Из (8), используя (4), получаем

$$q(s, t, q(t, \tau, x)) - q(s, \tau, x) = - \int_s^t [a(v, q(v, t, q(t, \tau, x)), u_1(v, q(v, t, q(t, \tau, x))), \dots, u_n(v, q(v, t, q(t, \tau, x)))) - a(v, q(v, \tau, x), u_1(v, q(v, \tau, x)), \dots, u_n(v, q(v, \tau, x)))] dv,$$

$$(s, t, \tau, x) \in Q_3(T).$$

Отсюда имеем:

$$\begin{aligned} & |q(s, t, q(t, \tau, x)) - q(s, \tau, x)| \leq \\ & \leq \int_s^t (N_0 + N_1 + \dots + N_n) |\alpha(v)| |q(v, t, q(t, \tau, x)) - q(v, \tau, x)| dv, \quad (s, t, \tau, x) \in Q_3(T), \end{aligned} \tag{9}$$

где  $\alpha(t) \in \overline{C}(R_+)$  - известная функция, определяемая по исходным данным.

Из интегрального неравенства (9) вытекает «тождество транзитивности», см. работу [9]:

$$q(s, t, q(t, \tau, x)) = q(s, \tau, x), \quad (s, t, \tau, x) \in Q_3(T). \tag{10}$$

Тогда из системы ИУ (7), (8) учитывая (10), имеем:

$$\omega_i(t, \tau, x) = \varphi_i(q(0, \tau, x)) + \int_0^t f_i(v, q(v, \tau, x), \omega_1(v, \tau, x), \omega_2(v, \tau, x), \dots, \omega_n(v, \tau, x)) dv, \tag{11}$$

$$q(s, \tau, x) = x - \int_s^\tau a(v, q(v, \tau, x), \omega_1(v, \tau, x), \dots, \omega_n(v, \tau, x)) dv, \quad i = 1, 2, \dots, n, \tag{12}$$

где обозначено

$$\omega_i(s, \tau, x) = u_i(s, q(s, \tau, x)), \quad i = 1, 2, \dots, n. \tag{13}$$

В системе ИУ (11),(12) приравнявая  $t$  на  $\tau$ , получаем систему ИУ (3), (4). Учитывая обозначение (13), имеем  $\omega_i(t, \tau, x) = u_i(t, x)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Итак достаточно доказать существование решение системы ИУ (11),(12).

Следовательно, используя МДА для ДУ в ЧП (1) с НУ (2), свели задачу к системе ИУ (11),(12).

Запишем эту систему (11),(12) в виде одного векторного уравнения, аналогично тому, как это делали в [11]

$$\theta(s, \tau, x) = A(s, \tau, x; \theta), \tag{14}$$

в котором  $\theta = (\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$  - вектор-функция переменных  $(s, \tau, x)$ , компоненты вектор -функции:  $\theta_0 = q(s, \tau, x)$ ,  $\theta_1 = \omega_1(s, \tau, x)$ ,  $\theta_2 = \omega_2(s, \tau, x)$ , ...,  $\theta_n = \omega_n(s, \tau, x)$ , а компоненты оператора  $A = (A_0, A_1, A_2, \dots, A_n)$

:

$$A_0(s, \tau, x; \theta) = x - \int_s^\tau a(v, \theta_0(v, \tau, x), \theta_1(v, \tau, x), \dots, \theta_n(v, \tau, x)) dv, \tag{15}$$

$$A_i(s, \tau, x; \theta) = \varphi_i(\theta_0(0, \tau, x)) +$$

$$\int_0^s f_i(\tau, \theta_0(v, \tau, x), \theta_1(v, \tau, x), \theta_2(v, \tau, x), \dots, \theta_n(v, \tau, x)) d\tau, \quad i = 1, \dots, n. \quad (16)$$

Поскольку пространство  $\bar{C}_x^{(1)}(Q_2(T_*)) \times (\bar{C}^{(1)}(Q_2(T_*)))^n$  не является линейным, введем в нем метрику

$$\rho(\theta^1, \theta^2) = \max \left\{ \sup \left\{ \left| \theta_i^1(s, \tau, x) - \theta_i^2(s, \tau, x) \right| : (s, \tau, x) \in Q_2(T_*) \right\} : i = 0, \dots, n \right\}.$$

Обозначим  $\theta_x = (x, 0, \dots, 0) \in \bar{C}_x^{(1)}(Q_2(T_*)) \times (\bar{C}^{(1)}(Q_2(T_*)))^n$ .

Обозначим  $M = \max \{ \|a\|_n T, \max \{ \|\varphi_i\|_n + \|f_i\|_n T : i = 1, \dots, n \} \}$ .

Имеем:

$$\rho(A(\theta), \theta_x) \leq \max \{ \|a\|_n T, \max \{ \|\varphi_i\|_n + \|f_i\|_n T : i = 1, \dots, n \} \} = M.$$

Покажем, что система уравнений (14)-(15)-(16) имеет в шаре  $S(\theta_x, M)$  пространства  $\bar{C}_x^{(1)}(Q_2(T_*)) \times (\bar{C}^{(1)}(Q_2(T_*)))^n$  решение при некотором  $T_* \leq T$ .

Справедливы следующие оценки

$$|A_0(\theta^1) - A_0(\theta^2)| \leq (N_0 + N_1 + \dots + N_n) T_* \|\theta^1 - \theta^2\|_n,$$

$$|A_i(\theta^1) - A_i(\theta^2)| \leq \Omega_i(T_*) \|\theta^1 - \theta^2\|_n,$$

где

$$\Omega_i(T) = (L_i + \sum_{k=0}^n M_k^i) T.$$

Отсюда следует, что оператор А при

$$T_* = \min \left\{ T, 1/(N_0 + N_1 + \dots + N_n); 1/(L_i + \sum_{k=0}^n M_k^i) : i = 1, 2, \dots, n \right\},$$

осуществляет сжатое отображение шара  $S(\theta_x, M)$  на себя.

Следовательно, по принципу сжимающих отображений уравнение (14) имеет одно и только одно решение. Таким образом, задача (1)-(2) также имеет единственное решение. Теорема доказана.

#### Заключение

Такая развитая методика исследования могут применяться для доказательства существования решения новых видов векторно-матричных нелинейных уравнений.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

- Иманалиев М.И. Нелинейные интегро-дифференциальные уравнения с частными производными / М.И. Иманалиев. – Бишкек: Илим, 1992. – 112 с.
- Панков П.С. Квазикоммутативность дифференциальных операторов и ее приложение к обоснованию метода дополнительного аргумента / П.С. Панков, Т.М. Иманалиев // Исследования по интегро-дифференциальным уравнениям, Выпуск. 28. – Бишкек: Илим, 1999. – С. 30 – 34.
- Аширбаева А.Ж. Приближенное решение начальной задачи для нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка методом дополнительного аргумента / А.Ж. Аширбаева // Исследования по интегро-дифференциальным уравнениям. – Бишкек: Илим, 2014. – Выпуск. 46. – С. 37 – 40.
- Иманалиев М.И. К теории нелинейных интегро-дифференциальных уравнений в частных производных типа Уизема / М.И. Иманалиев, С.Н. Алексеенко // Доклады Российской АН. – 1992. – Т. 323. – № 3. – С. 410 – 414.
- Иманалиев М.И. К теории почти солитонных решений нелинейного дифференциального уравнения в частных производных типа Кортевега-де Фриза четвертого порядка / М.И. Иманалиев, Т.М. Иманалиев, У.М. Иманалиев // Исследования по интегро-дифференциальным уравнениям. – Бишкек: Илим, 2003. – Выпуск 32. – С.17 – 23.
- Иманалиев М.И. К теории нелинейных уравнений с дифференциальным оператором типа полной производной по времени / М.И. Иманалиев, С.Н. Алексеенко // Доклады Российской АН. – 1993. – Т. 329. – № 5. – С. 543 – 546.
- Иманалиев М.И. К теории нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных типа Кортевега - де Фриза / М.И. Иманалиев, П.С. Панков, Т.М. Иманалиев // Доклады Российской АН. – 1995. – Т. 342. – № 1. – С.17 – 19.
- Панков П.С. Приближенное решение начальной задачи для нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных методом дополнительного аргумента / П.С.Панков, Т.М. Иманалиев, Г.М. Кененбаева // Юбилейная научная конференция, посвященная 50-летию развития математики в Академии наук Казахстана: Тезис, доклады – Алматы, 1995. – С. 164.
- Аширбаева А.Ж. Решение нелинейных дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений в частных производных высокого порядка методом дополнительного аргумента. – Бишкек: Илим, 2013. – 134 с.

10. Иманалиев М.И. К теории систем нелинейных интегро-дифференциальных уравнений в частных производных типа Уизема / М.И. Иманалиев, С.Н. Алексеенко // Доклады АН. – 1992. – Т. 325. – № 6. – С.1111 – 1115.

11. Аширбаева А.Ж. Решение системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка со многими переменными/А.Ж. Аширбаева, Ж.И. Мамбетов//Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – № 3 (69) – С.6-10.

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

1. Imanaliev M.I. Nelinejnye integro-differencial'nye uravnenija s chastnymi proizvodnymi [Nonlinear integral-differential equations with partial derivatives] / M.I. Imanaliev. – Bishkek: Ilim, 1992. – 112 p. [in Russian]

2. Pankov P.S. Kvazikommutativnost' differencial'nyh operatorov i ee prilozhenie k obosnovaniju metoda dopolnitel'nogo argumenta [Quasicommutativity of differential operators and its application to the justification of the method of an additional argument] / P.S. Pankov, T.M. Imanaliev // Investigations on integral-differential equations. Issue. 28. – Bishkek: Ilim, 1999. – P. 30 – 34. [in Russian]

3. Ashirbaeva A.Zh. Priblizhennoe reshenie nachal'noj zadachi dlja nelinejnyh differencial'nyh uravnenij v chastnyh proizvodnyh vtorogo porjadka metodom dopolnitel'nogo argumenta [Approximate solution of the initial value problem for nonlinear partial differential equations of the second order by the method of an additional argument] / A.Zh. Ashirbaeva // Investigations on integral-differential equations. – Bishkek: Ilim, 2014. – Issue. 46. – P. 37 – 40. [in Russian]

4. Imanaliev M.I. K teorii nelinejnyh integro-differencial'nyh uravnenij v chastnyh proizvodnyh tipa Uizema [On the theory of nonlinear integral-differential partial differential equations of Whitham type] / M.I. Imanaliev, S.N. Alekseenko // Reports of the Russian Academy of Sciences. – 1992. – V. 323. – No.3. – P. 410 – 414. [in Russian]

5. Imanaliev M.I. K teorii pochti solitonnyh reshenij nelinejnogo differencial'nogo uravnenija v chastnyh proizvodnyh tipa Kortevega-de Friza chetvertogo porjadka [To the theory of almost soliton solutions of a nonlinear partial differential equation of the fourth-order Korteweg-de Vries type] / M.I. Imanaliev, T.M. Imanaliev, U.M. Imanaliev // Investigations on integral-differential equations. – Bishkek: Ilim, 2003. – Issue 32. – P.17 – 23. [in Russian]

6. Imanaliev M.I. K teorii nelinejnyh uravnenij s differencial'nym operatorom tipa polnoj proizvodnoj po vremeni [On the theory of nonlinear equations with a differential operator of the type of the total time derivative] / M.I. Imanaliev, S.N. Alekseenko // Reports of the Russian Academy of Sciences. – 1993. – V. 329. – No.5. – P. 543 – 546. [in Russian]

7. Imanaliev M.I. K teorii nelinejnyh differencial'nyh uravnenij v chastnyh proizvodnyh tipa Kortevega - de Friza [On the theory of nonlinear partial differential equations of the Korteweg-de Vries type] / M.I. Imanaliev, P.S. Pankov, T.M. Imanaliev // Reports of the Russian Academy of Sciences. – 1995. – V. 342. – No. 1. – P.17 – 19. [in Russian]

8. Pankov P.S. Priblizhennoe reshenie nachal'noj zadachi dlja nelinejnyh differencial'nyh uravnenij v chastnyh proizvodnyh metodom dopolnitel'nogo argumenta [Approximate solution of the initial value problem for nonlinear partial differential equations by the method of an additional argument] / P.S.Pankov, T.M. Imanaliev, G.M. Kenenbaeva // Anniversary scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the development of mathematics in the Academy of Sciences of Kazakhstan: Abstract, reports. – Almaty, 1995. – P. 164. [in Russian]

9. Ashirbaeva A.Zh. Reshenie nelinejnyh differencial'nyh i integro-differencial'nyh uravnenij v chastnyh proizvodnyh vysokogo porjadka metodom dopolnitel'nogo argumenta [Solution of nonlinear differential and integral-differential partial differential equations of high order by the method of an additional argument]. – Bishkek: Ilim, 2013. – 134 p. [in Russian]

10. Imanaliev M.I. K teorii sistem nelinejnyh integro-differencial'nyh uravnenij v chastnyh proizvodnyh tipa Uizema [On the theory of systems of nonlinear integral-differential partial differential equations of Whitham type] / M.I. Imanaliev, S.N. Alekseenko // Reports of the Academy of Sciences. – 1992. – V. 325. – No. 6. – P.1111 – 1115. [in Russian]

11. Ashirbaeva A.Zh. Solution of system of nonlinear differential equations in private first order with multiple variables/ A.Zh., Ashirbaeva, Zh.I. Mambetov// International research journal. – 2018.– No. 3(69). – P.6-10. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.002>

## АЛГОРИТМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Научная статья

Гаджиев Ф.Г.<sup>1</sup>, Гулузаде Ф.И.<sup>2,\*</sup><sup>1,2</sup> Азербайджанский Университет Нефти и Промышленности, Баку, Азербайджан

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

**Аннотация**

Рассматривается проблема представления свойств сложных объектов в базах знаний экспертных систем, когда они характеризуются неопределенностью и отсутствуют способы оценки каких либо значений размытости их количественных характеристик, что существенно затрудняет исследование соответствующего признакового пространства. Анализ поставленной задачи свидетельствует о целесообразности изначальной ориентации программного обеспечения ее решения на многозначную интерпретацию с позиции нечеткого и лингвистического моделирования рассматриваемой проблемной области.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы, знания, экспертные системы, сложные объекты, нечеткость, функция принадлежности.

## ALGORITHM FOR PRESENTING PROPERTIES OF EXPERT SYSTEM OBJECTS

Research article

Gadzhiev F.G.<sup>1</sup>, Guluzade F.I.<sup>2,\*</sup><sup>1,2</sup> Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

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

**Abstract**

The article considers the problem of presenting the properties of complex objects in the knowledge bases of expert systems when they are characterized by uncertainty, and there is no other way to estimate ambiguity values of their quantitative characteristics, which complicates the study of the corresponding attribute space. The analysis of the task set testifies to the expediency of the initial orientation of the software for its solution to the multi-valued interpretation from the position of fuzzy and linguistic modeling of the problem area under consideration.

**Keywords:** intelligent systems, knowledge, expert systems, complex objects, fuzziness, membership function.

**Введение**

Разработка экспертных систем часто предполагает наличие лингвистических характеристик и обычных операций, что непосредственно связано с целесообразностью построения таких систем на основе теории нечетких множеств, ориентированных на алгебру нечетких чисел. Под последними понимают нечеткое множество, которое определено на множестве действительных чисел и является выпуклой и унимодальной. К настоящему времени концепция интеллектуальных систем основывается большей частью, на такие современные научные направления, которые характеризуются неточностью, неопределенностью и отсутствием стандартных средств решения поставленных задач, ориентированные на разработку систем, основанных на знаниях. Являясь системами искусственного интеллекта они создавались на базе программного обеспечения не содержащей интеллектуальные элементы с одной стороны и эффективные процедуры численных методов, концептуально противоречащих интеллектуальным особенностям этих систем [1], [2].

Следует иметь ввиду очевидное присутствие интеллектуальности практически во всех задачах искусственного интеллекта, отсутствие возможности моделирования которых стандартными математическими формализмами в полной мере ориентировано на многозначную интерпретацию, увязываются к концепции нечетких множеств и моделей. Последняя обеспечивает реализацию нечетких рассуждений и принятие решений в различных проблемных областях, к примеру, системах планирования при нечеткой исходной информации, процессах управления техническими и другими системами, экспертных системах. При этом предпринимаются попытки расширения понятия нечеткости как такового, а традиционный анализ нечетких свойств объектов обобщается на формализацию классического понимания неопределенности и плохоструктурированности [3], [4].

Исследования свойств объектов экспертной системы способствуют экспертной и системной интерпретации характеристик изучаемого пространства  $R^F$ . При этом особое значение приобретает анализ их операционных значений, так как интенсивная проработка знаний в интеллектуальных системах с учетом алгоритмов реализации обычных арифметических операций и обобщение считаются эффективным средством обеспечения ее актуальности.

**Постановка задачи**

Пусть на формальном статическом пространстве  $R^F$  регулярной сетью задано множество сложных объектов

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$$

которым ставят в соответствие свойства заданные в виде матрицы

$T = [a_{ij}]$ ;  $a_{ij}$  –  $j$ -ое свойство  $i$ -го объекта. Поскольку матрица  $T$  отображает ее строки и столбцы

$$\begin{aligned} ((a_i^- \in T^-) \rightarrow (a_i^- = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}))) \\ ((a_j^+ \in T^+) \rightarrow (a_j^+ = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}))), \end{aligned}$$

то она полностью соответствует пространству  $R^F$ , а следовательно характеризует ее текущее состояние. Требуется произвести идентификацию свойств объектов лингвистическими характеристиками.

### Методы решения

Решение поставленной задачи тесно связано с пониманием важности проблемы представления знаний соответствующих сложным объектам, поскольку будучи плохоструктурированными не содержат в себе систематических процедур, а решение представляется в виде поиска в пространстве состояний, характеризующихся нечеткими значениями ее информационных единиц. Последние могут быть интерпретируемы лингвистическими характеристиками на основе следующего алгоритма:

1. Активизация стартового состояния базы знаний экспертной системы.
2. Выбор исследуемых свойств объектов.
3. Активизация процедуры формирования лингвистической шкалы.
4. Подключение аппроксимационных процедур.

5. Задание функций принадлежности и  $\alpha$  – уровня. Генерация терм-множества и лингвистических характеристик объектов.

Важнейшей характеристикой данного алгоритма является поиск эффективного определения функции принадлежности, что реализовано нами следующим алгоритмом:

1. Активизация буферной зоны базы знаний содержащей лингвистические характеристики, определенные на основе предыдущего алгоритма.

2. При системном задании функции принадлежности перейти к 5.

3. Если рассматриваемый лингвистический терм «очень малое», то  $\mu(x) = 'gbell'$ , иначе, если «малое», то  $\mu(x) = 'gauss'$ , иначе если «среднее», то  $\mu(x) = 'gauss'$ , иначе если «большое», то  $\mu(x) = 'gauss'$ , иначе если «очень большое», то  $\mu(x) = 'gbell'$  (по обозначению MATLAB).

4. Идти к 6.

5.  $\mu(x)$  и лингвистический терм заданы системно.

6. При продолжении алгоритма идти к 2.

В алгоритме могут быть использованы различные классы функций принадлежности, среди которых особое место занимают экспоненциальные:

Очень большое	$1 - \exp\left[-\left(\frac{0,5}{ 1-x }\right)^{2,5}\right]$
Значительно больше	$1 - \exp\left[-\left(\frac{0,25}{ 0,7-x }\right)^{2,5}\right]$
Больше	$1 - \exp\left[-\left(\frac{0,25}{ 0,4-x }\right)^{2,5}\right]$
Среднее	$1 - \exp[-5 x ]$
Малое	$1 - \exp\left[-\left(\frac{0,25}{ -0,4-x }\right)^{2,5}\right]$
Значительно малое	$1 - \exp\left[-\left(\frac{0,25}{ -0,7-x }\right)^{2,5}\right]$
Очень малое	$1 - \exp\left[-\left(\frac{0,5}{ -1-x }\right)^{2,5}\right]$

Следует иметь в виду что рассмотренный алгоритм характеризуется тем, что допускает вмешательство эксперта или не системных процедур. Однако при решении определенного класса задач подобное вмешательство не поддерживается экспертами по следующим причинам:

- основное внимание сосредоточено на подцелях, а остальные вопросы должны быть реализованы системно;
- эксперт в текущей ситуации не располагает знаниями о появившейся проблеме;
- во многих случаях пользователи не считают целесообразным вмешиваться во все технические детали;

Исходя из этого представление элементов терм-множества может производиться альтернативными способами, например на основе квадратичных функций:

$$\mu_{\text{малое}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a \\ \left[1 - \frac{(x-a)^2}{(b-a)^2}\right], & \text{если } a \leq x \leq b \\ 0, & \text{если } x > b \end{cases}$$

$$\mu_{\text{среднее}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a \\ \left[1 - \frac{(x-a)^2}{(x_0-a)^2}\right], & \text{если } a \leq x \leq x_0 \\ \left[\frac{(x-a)^2}{(b-x_0)^2}\right], & \text{если } x_0 \leq x \leq b \\ 0, & \text{если } x < b \end{cases}$$

$$\mu_{\text{большое}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a \\ \frac{(x-a)^2}{(b-a)^2}, & \text{если } a \leq x \leq b \\ 0, & \text{если } x > b \end{cases}$$

Данный алгоритм определен следующим образом:

1. Загрузка системы.

2. Определение характеристик пространства признаков.
3. Вычисление граничных и промежуточных значений лингвистической шкалы.
4. Вычисление степеней принадлежности, причем при непересекающемся интервале производится прямое определение величины принадлежности, а при пересекающемся интервале первоначально устанавливается ближайшая граница, после чего степень принадлежности вычисляется относительно значения этой границы. В равноудаленном случае преимущественнее считается правая граница.

5. Организация вывода.

#### Апробация работы

На основе приведенных алгоритмов разработано программное обеспечение, которое было апробировано на материалах космических исследований. Исходная, прямоугольная матрица  $T$  была сформирована четырьмя свойствами указанных материалов, а относительно одного свойства были получены следующие результаты.

Таблица 1 – Свойства объектов со степенями принадлежности

Идентификация объектов	Свойства объекта					
	$b_{11}$	$b_{21}$	$b_{31}$	$b_{41}$	$b_{51}$	...
$a_{11}$	12	12	38	25	18	...
$S_{j1}$	0.387	0.387	0.183	0.094	0.178	...

#### Заключение

В результате проведенных исследований установлены приемлемые алгоритмы идентификации свойств сложных объектов с нечетких позиций, которые могут быть реализованы не только в случае экспертного или системного задания значений лингвистической переменной, но и в ситуации их отсутствия, когда терм-множество формируется на основе системных процедур.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Алиев А.А. Soft computing. Часть первая / Алиев А.А., Алиев Р.Р. Баку, АГНА, 1999, 181 с.
2. Zadeh L.A. Fuzzy sets: Inform. and control / Zadeh L.A., 1965, N8, pp. 338-353.
3. Stuart J. Russel Artificial Intelligence. A Modern Approach / Stuart J. Russel, Peter Norvig. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey 074458, 2005, 1408 p.
4. Zohri A. Continuity of fuzzy sets approximate additive mappings / Zohri A., Eghbali N.. Jour Pure Appl. Math, V3, N1, 2013, A 35-40.
5. Borisov A.N. Methods for interactive evaluation of solutions / Borisov A.N., Levchenko A.S.. Riga, Zinatne, 1982, 180 p.
6. Mirmostafae A.K. Fuzzy almost quadratic functions. Results in Math / Mirmostafae A.K., Moslehian M.S., 52, 2008, p. 161-177.
7. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / Кофман А. М., Радиосвязь, 1982, 432 с.
8. Jager R.R. Fuzzy sets, neural networks and Soft Computing, VAN Nostrand Reinhold / Jager R.R., Zadeh L.A., New York 1994, 440 p.
9. Həsənov G. Fazzi riyaziyyat idarəetmə modellərində / Həsənov G. Bakı, Elm, 2000, 454 s.
10. Presentation of uncertain information with help of canonically conjugate fuzzy subsets. 4<sup>th</sup> international conference problems of Cybernetics and Informatics (PCI), 2012.

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

1. Aliyev A.A. Soft computing. First Part / Aliyev A.A., Aliyev R.R.. Baku, ASOA, 1999, 181 p.
2. Zadeh L.A. Fuzzy sets: Inform. and control / Zadeh L.A., 1965, N8, pp. 338-353.
3. Stuart J. Russel Artificial Intelligence. A Modern Approach / Stuart J. Russel, Peter Norvig.. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey 074458, 2005, 1408 p.
4. Zohri A. Continuity of fuzzy sets approximate additive mappings / Zohri A., Eghbali N. Jour Pure Appl. Math, V3, N1, 2013, P 35-40.
5. Borisov A.N. Methods for interactive evaluation of solutions / Borisov A.N., Levchenko A.S. Riga, Zinatne, 1982, 180 p.
6. Mirmostafae A.K. Fuzzy almost quadratic functions / Mirmostafae A.K., Moslehian M.S. Results in Math, 52, 2008, p. 161-177.
7. Kofman A. Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv [Introduction to the theory of fuzzy sets] / Kofman A. M., Radiosvyaz, 1982, 432 p. [in Russian]
8. Jager R.R. Fuzzy sets, neural networks and Soft Computing, VAN Nostrand Reinhold / Jager R.R., Zadeh L.A., New York 1994, 440 p.
9. Hasanov G. Fuzzy math in management models. Baku, Elm, 2000, 454 p.
10. Presentation of uncertain information with help of canonically conjugate fuzzy subsets. 4<sup>th</sup> international conference problems of Cybernetics and Informatics (PCI), 2012.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.003>

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНКУРЕНЦИИ НА ТРОФИЧЕСКОМ РЕСУРСЕ

Научная статья

Горыня Е.В.<sup>1</sup>, Колпак Е.П.<sup>2,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-5578-1359;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6956-4814;<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

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

**Аннотация**

Разработаны математические модели эксплуатационной и интерференционной конкуренции на линейном ареале на основе систем уравнений с распределенными параметрами. Сделан анализ стационарных состояний на устойчивость. Показано, что эксплуатационная конкуренция на восстанавливаемом трофическом ресурсе не приводит к исчезновению одной из популяций, обусловленной конкуренцией. Модель интерференционной конкуренции содержит различные варианты последствий конкуренции двух популяций. В обеих моделях для популяций с малым числом особей влияние конкуренции не существенно. Дана оценка скоростей распространения малочисленных популяций на ареале. Получены условия существования автоволнового решения на неограниченной прямой. Для построения численного решения краевой задачи для системы нелинейных дифференциальных уравнений используется метод сеток с программной реализацией в среде программирования математического пакета Matlab. Численные результаты согласуются с аналитическими результатами на мелких сетках.

**Ключевые слова:** популяция, конкуренция, трофический ресурс, устойчивость, дифференциальные уравнения.

## MATHEMATICAL COMPETITIVE MODELS ON THE TROPHIC RESOURCE

Research article

Gorynya E.V.<sup>1</sup>, Kolpak E.P.<sup>2,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-5578-1359;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6956-4814;<sup>1,2</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg

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

**Abstract**

The authors have developed mathematical models of operational and interference competition on a linear range based on the systems of equations with distributed parameters. They also have conducted an analysis of stationary states stability. It is shown that the operational competition on the restored trophic resource does not lead to the disappearance of one of the populations due to competition. The model of interference competition contains various options for the effects of competition between the two populations. In both models, for populations with a small number of individuals, the influence of competition is not significant. The assessment of the distribution rates of small populations on the range is given, and the conditions for the existence of an autowave solution on an unbounded straight line are obtained. In order to construct a numerical solution of a boundary value problem for a system of nonlinear differential equations, they have used the grid method with software implementation in the programming environment of the Matlab environment. Numerical results are consistent with analytical results on fine grids.

**Keywords:** population, competition, trophic resource, stability, differential equations.

**Введение**

Одна из первых моделей конкуренции была предложена Вольтерра [1] как модель видов, оспаривающих одну и ту же пищу. Для случая  $n$  популяций, численность которых  $N_1, N_2, \dots, N_n$ , живущих на одной территории, питающихся одним и тем же пищевым ресурсом модель динамика популяций записывается в форме

$$\frac{dN_i}{dt} = N_i (a_i - c_i F(N_1, N_2, \dots, N_n)) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

где  $a_i$  и  $c_i$  - постоянные величины,  $F(N_1, N_2, \dots, N_n)$  - положительно определенная функция, характеризующая уровень конкурентного взаимодействия популяций.

Из анализа уравнений (1) следует, что выживает только та популяция, у которой наибольшее значение  $a_i/c_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), а остальные погибают [1], [2]. В результате был сформулирован принцип конкурентного исключения, в соответствии с которым должно уменьшаться число видов, энергетические потребности на воспроизводство потомства которых больше, чем у конкурирующих с ними видов [3], [4].

В модели (1) в случае одиночной популяции ее численность со временем неограниченно увеличивается. Но за миллионы лет существования всего живого на Земле такой прогноз не подтверждаются. Нет и примеров постоянного увеличения численности какой-либо популяции на историческом временном интервале. Есть и многочисленные примеры «мирного» существования на общем трофическом ресурсе различных популяций [3], [4]. Наблюдается конкуренция и между отдельными группами особей внутри самой популяции [3], [5], обусловленная внешними и внутренними причинами. Учет внутривидовой и межвидовой конкуренции осуществлен в модели [3], [5].

$$\frac{dN_i}{dt} = N_i(a_i - b_i N_i - c_i F(N_1, N_2, \dots, N_n)) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

где  $b_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – положительные постоянные.

Модель (2) при  $c_i=0$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) описывает  $n$  логистических популяций с ограниченными емкостями сред  $K_i = a_i/b_i$ , устойчивым решением  $N_i = a_i/b_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ). При малых значениях  $c_i$  по сравнению с  $b_i$  нетривиальная стационарная точка, имеющая физический смысл, в силу непрерывности решения от параметров может быть устойчивой [2]. Таким образом, в модели (2) численность одиночной популяции ограничивается емкостью среды и допускается возможность устойчивого существования конкурирующих популяций. Но отсутствуют ресурсы, на которых происходит конкурентное взаимодействие популяций. То есть функция  $F(N_1, N_2, \dots, N_n)$  в (1) и в (2) отражает непосредственный контакт между особями, приводящий к уменьшению скорости их роста. Но это может рассматриваться как простое взаимное уничтожение. Если считать, что эта функция отражает конкуренцию на неограниченном ресурсе, то в этом случае не просто объяснить, в чем ее суть, поскольку ресурса достаточно для всех популяций.

Введение трофического ресурса  $S$  в модель (2) можно осуществить следующим образом

$$\begin{aligned} \frac{dN_i}{dt} &= N_i(a_i - b_i N_i - c_i F(S, N_1, N_2, \dots, N_n)) \quad (i=1, 2, \dots, n) \\ \frac{dS}{dt} &= \mu_S S \left(1 - \frac{S}{K}\right) - \gamma \sum_{i=1}^n c_i F(S, N_1, N_2, \dots, N_n). \end{aligned}$$

Здесь предполагается, что изменение количества ресурса, если он не потребляется, описывается логистическим уравнением. Параметр  $\mu_S$  – удельная скорость роста ресурса,  $\gamma$  – положительный параметр.

Модели (1) и (2) описывают интерференционную конкуренцию [3]. Эксплуатационную конкуренцию, которая свойственна видам, потребляющим одну и ту же пищу без непосредственного взаимодействия особей друг с другом, эти модели не содержат. Для описания такой конкуренции необходимо считать, что собственная скорость роста численности популяции зависит от количества потребляемого ресурса, а ресурс рассматривается как «жертва» по отношению к популяции его потребляющей. Модель, в отличие от (2) может быть записана в форме

$$\begin{aligned} \frac{dN_i}{dt} &= N_i(a_i(S) - b_i N_i) \quad (i=1, 2, \dots, n) \\ \frac{dS}{dt} &= \mu_S S \left(1 - \frac{S}{K}\right) - \gamma \sum_{i=1}^n N_i a_i(S), \end{aligned}$$

где  $a_i(S)$  – функции, задающие скорость размножения популяции.

#### Эксплуатационная конкуренция

Для учета влияния на линейном ареале пищевого ресурса  $S$  на численность двух популяций, линейная плотность которых  $u_1(t, x)$  и  $u_2(t, x)$ , предполагается, что скорость размножения особей популяций зависит от количества потребляемой пищи. При избытке ресурса он не должен влиять на скорость роста численности популяции, а в его отсутствие скорость роста численности равна нулю. Этим условиям удовлетворяет гиперболическая зависимость:  $a(S) = \frac{S}{b+S}$ , где  $b$  – положительная константа.

С учетом этих предположений модель конкуренции двух логистических популяций на неподвижном трофическом записывается в форме системы уравнений с распределенными параметрами

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_1}{\partial t} &= D_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} + \mu_1 u_1 \left( \frac{S}{b_1 + S} - \frac{u_1}{K_1} \right), \\ \frac{\partial u_2}{\partial t} &= D_2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} + \mu_2 u_2 \left( \frac{S}{b_2 + S} - \frac{u_2}{K_2} \right), \\ \frac{\partial S}{\partial t} &= -\gamma_1 \frac{S}{b_1 + S} u_1 - \gamma_2 \frac{S}{b_2 + S} u_2 + \mu_S S (1 - S/K), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  и  $\mu_S$  - скорости роста численности популяций на неограниченном ресурсе и трофического ресурса в отсутствие популяций,  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K$  - емкости сред популяций и трофического ресурса, параметры  $D_1$  и  $D_2$  характеризуют подвижность особей,  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ ,  $b_1$  и  $b_2$  - положительные постоянные.

На границах отрезка длиной  $l$  ставятся условия наполнения среды [6]:

$$\left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|_{x=l} = 0, \quad \left. \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial u_2}{\partial x} \right|_{x=l} = 0, \quad \left. \frac{\partial S}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial S}{\partial x} \right|_{x=l} = 0 \quad (4)$$

Для случая бесконечной прямой принимается, что при  $x \rightarrow \pm\infty$   $S \rightarrow K$ , а  $u_1 \rightarrow 0$  и  $u_2 \rightarrow 0$ .

В момент времени  $t = 0$  задано распределение популяций:

$$u_1(0, x) = u_1^0(x), \quad u_2(0, x) = u_2^0(x), \quad S = K.$$

Если особи популяции в малом количестве появляются в точке  $x = x_0$ , то

$$u_1(0, x) = u_1^0 \delta(x - x_0), \quad u_2(0, x) = u_2^0 \delta(x - x_0), \quad S(0, x) = K, \quad (5)$$

где  $\delta(x - x_0)$  - дельта функция Дирака.  $u_1^0 \ll 1$  и  $u_2^0 \ll 1$

Локальная модель следует из (3) в предположении, что  $D_1 = 0$  и  $D_2 = 0$ . Тривиальная стационарная точка в этой модели будет неустойчивой, поскольку одно из собственных значений матрицы Якоби будет положительным:  $\lambda_3 = \mu_S$ . В нетривиальной неподвижной точке

$$u_1 = K_1 \frac{S}{b_1 + S}, \quad u_2 = K_2 \frac{S}{b_2 + S},$$

а  $S$  находится из уравнения

$$-\gamma_1 K_1 \left( \frac{S}{b_1 + S} \right)^2 - \gamma_2 K_2 \left( \frac{S}{b_2 + S} \right)^2 + \mu_S S (1 - S/K) = 0,$$

которое на промежутке  $[0, K]$  будет иметь хотя бы один положительный корень.

Система уравнений (3) при условиях на границах (4) имеет однородное решение

$$u_1 = 0, \quad u_2 = 0 \quad \text{и} \quad S = K. \quad (6)$$

В малой окрестности этого решения можно принять, что  $u_1 = \delta u_1(t, x)$ ,  $u_2 = \delta u_2(t, x)$  и  $S = K + \delta S(t, x)$ , где  $\delta u_1(t, x)$ ,  $\delta u_2(t, x)$  и  $\delta S(t, x)$  малые величины:

$$\delta u_1(t, x) \ll \frac{K}{b_1 + K} K_1, \quad \delta u_2(t, x) \ll \frac{K}{b_2 + K} K_2, \quad |\delta S(t, x)/K| \ll 1.$$

С учетом малости этих ограничений из уравнений (3) в линейном приближении следуют уравнения для  $\delta u_1$  и  $\delta u_2$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta u_1}{\partial t} &= D_1 \frac{\partial^2 \delta u_1}{\partial x^2} + \mu_1 \frac{K}{b_1 + K} \delta u_1, \\ \frac{\partial \delta u_2}{\partial t} &= D_2 \frac{\partial^2 \delta u_2}{\partial x^2} + \mu_2 \frac{K}{b_2 + K} \delta u_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Решения этих уравнений как функции времени будут расти по экспоненциальной зависимости с показателем  $\mu_1 \frac{K}{b_1 + K}$  для  $\delta u_1$  и показателем  $\mu_2 \frac{K}{b_2 + K}$  для  $\delta u_2$ . Физическая интерпретация этого: при малом числе особей двух конкурирующие популяции они не оказывают влияния друг на друга, а численность обеих популяций будет увеличиваться.

Для неограниченной прямой и условий (5) из (7) следуют выражения для  $\delta u_1$  и  $\delta u_2$  [6]

$$\delta u_1 = \frac{u_1^0}{\sqrt{\pi D_1 t}} e^{\alpha_1(t, x)}, \quad \delta u_2 = \frac{u_2^0}{\sqrt{\pi D_2 t}} e^{\alpha_2(t, x)},$$

где

$$\omega_1(t, x) = \frac{1}{4D_1 t} \left( \sqrt{4\mu_1 D_1 \frac{S_0}{b_1 + S_0} t - x} \right) \left( \sqrt{4\mu_1 D_1 \frac{S_0}{b_1 + S_0} t + x} \right),$$

$$\omega_2(t, x) = \frac{1}{4D_2 t} \left( \sqrt{4\mu_2 D_2 \frac{S_0}{b_2 + S_0} t - x} \right) \left( \sqrt{4\mu_2 D_2 \frac{S_0}{b_2 + S_0} t + x} \right).$$

Из выражений для  $\omega_1(t, x)$  и  $\omega_2(t, x)$  следует, что распространение популяций из точки  $x = 0$  на отрезок в первом приближении будет происходить со скоростями

$$v_1 = \sqrt{4\mu_1 D_1 \frac{S_0}{b_1 + S_0}} \text{ и } v_2 = \sqrt{4\mu_2 D_2 \frac{S_0}{b_2 + S_0}} \quad (8)$$

Решения, на которых одновременно  $u_1 \neq 0$  и  $u_2 \neq 0$ , находятся как корни системы уравнений

$$u_1 = K_1 \frac{S}{b_1 + S}, \quad u_2 = K_2 \frac{S}{b_2 + S},$$

$$f(S) = -\gamma_1 K_1 \frac{S}{(b_1 + S)^2} - \gamma_2 K_2 \frac{S}{(b_2 + S)^2} + \mu_3 (1 - S/K) = 0.$$

На промежутке  $[0, K]$  функция  $f(S)$  меняет знак. Поэтому эта система уравнений будет иметь хотя бы один положительный корень.

**Автоволновое решение**

Нелинейные уравнения, имеющие несколько стационарных решений, могут иметь автоволновые решения [6], [7], [8]. Скорости распространения двух популяций на неограниченном ареале, как это следует из (8), должны быть разными. Тогда автоволновое решение представляется в виде функций одного аргумента  $u_1 = u_1(x - v_1 t)$ ,  $u_2 = u_2(x - v_2 t)$ , и, соответственно, должно удовлетворять уравнениям

$$D_1 \frac{d^2 u_1}{dz_1^2} + v_1 \frac{du_1}{dz_1} + \mu_1 u_1 \left( \frac{S}{b_1 + S} - \frac{u_1}{K_1} \right) = 0,$$

$$D_2 \frac{d^2 u_2}{dz_2^2} + v_2 \frac{du_2}{dz_2} + \mu_2 u_2 \left( \frac{S}{b_2 + S} - \frac{u_2}{K_2} \right) = 0, \quad (9)$$

где  $z_1 = x - v_1 t$ ,  $z_2 = x - v_2 t$ .

Решение уравнений (9) ищется с условиями:

1. При  $z_{1,2} = -\infty$

$$u_1 = K_1 \frac{S}{b_1 + S}, \quad u_2 = K_2 \frac{S}{b_2 + S},$$

а  $S$  является корнем уравнения

$$-\gamma_1 K_1 \frac{S}{(b_1 + S)^2} - \gamma_2 K_2 \frac{S}{(b_2 + S)^2} + \mu_3 (1 - S/K) = 0.$$

2. При  $z_{1,2} = \infty$

$$u_1 = 0, \quad u_2 = 0, \quad S = K.$$

Возмущения  $\delta u_1$  и  $\delta u_2$  уравнений (9) в силу их малости около первой стационарной точки удовлетворяют линейным уравнениям

$$D_1 \frac{d^2 \delta u_1}{dz_1^2} + v_1 \frac{d\delta u_1}{dz_1} - \mu_1 u_1^* \delta u_1 = 0,$$

$$D_2 \frac{d^2 \delta u_2}{dz_2^2} + v_2 \frac{d\delta u_2}{dz_2} - \mu_2 u_2^* \delta u_2 = 0. \quad (10)$$

Характеристические числа этих уравнений имеют корни противоположных знаков, поэтому в окрестности этой стационарной точки можно построить такое решение, на котором функции  $u_1(z_1)$  и  $u_2(z_2)$  будут убывать с ростом  $z_1$  и  $z_2$ .

Пусть скорость второй автоволны меньше, чем скорость первой. Тогда, поскольку первая автоволна опережает вторую, возмущение  $\delta u_1$  в окрестности точки  $u_1 = 0$ ,  $S = K$  удовлетворяет уравнению

$$D_1 \frac{d^2 \delta u_1}{dz_1^2} + v_1 \frac{d \delta u_1}{dz_1} + \mu_1 \frac{K}{b_1 + K} \delta u_1 = 0.$$

Собственные значения характеристического полинома этого уравнений

$$\lambda_{1,2} = \frac{-v_1 \pm \sqrt{v_1^2 - 4D_1\mu_1 K / (b_1 + K)}}{2D_1}$$

будут вещественными и оба отрицательными, если выполняется условие

$$v_1 > 2\sqrt{D_1\mu_1 \frac{K}{b_1 + K}},$$

которое и будет условием существования убывающего решения в окрестности точки  $z_1 = \infty$  для первого уравнения в (10), и, одновременно условием возможного существования автоволнового решения.

Вторая популяция движется на трофическом ресурсе  $S^*$  меньше, чем  $K$ , который определяется как корень уравнения

$$-\gamma_1 K_1 \frac{S}{(b_1 + S)^2} + \mu_3(1 - S/K) = 0,$$

и, соответственно, для второй популяции автоволновое решение может существовать при выполнении неравенства

$$v_2 > 2\sqrt{\mu_2 D_2 \frac{S^*}{b_2 + S^*}}.$$

На рисунке при  $\gamma = 0.3$ ,  $\mu_1 = 200$ ,  $\mu_2 = 600$ ,  $\mu_3 = 100$ ,  $b_1 = 1.0$ ,  $b_2 = 0.7$ ,  $K_1 = 1$ ,  $K_2 = 0.5$ ,  $D_1 = 0.001$ ,  $D_2 = 0.001$  отражено изменение функций  $u_1(x)$ ,  $u_2(x)$  и  $S(x)$  при  $t = 0.4$  на отрезке  $[0, 1]$ . «Стрелками» отмечены направления движения автоволн. Решение уравнений (3) строилось в среде программирования математического пакета Matlab [9], использовалась встроенная функция `ode45` с числом узловых точек равным 1500. Численные значения скоростей распространения популяций, полученные на «мелких» сетках, превышают теоретические значения на 2-4%.

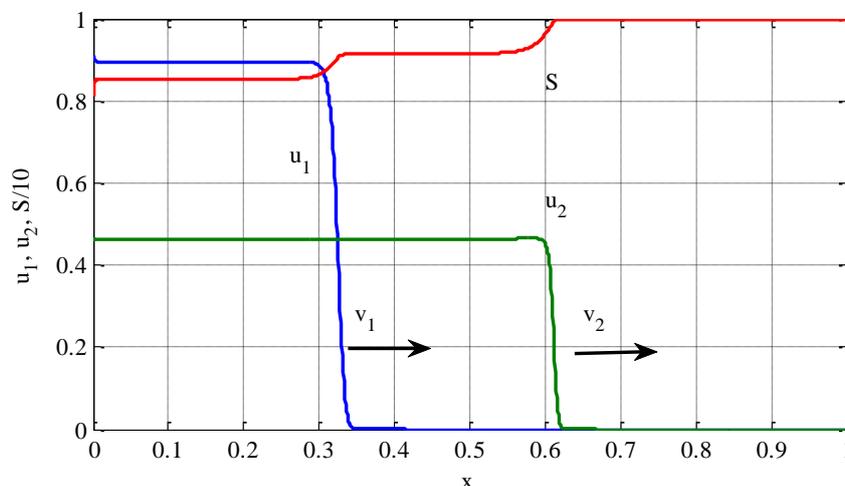


Рис. 1 – Графики зависимости функций  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  и  $S(t)$  в момент времени  $t = 0.4$ ,  $\gamma = 0.3$ ,  $\mu_1 = 200$ ,  $\mu_2 = 600$ ,  $\mu_3 = 100$ ,  $b_1 = 1.0$ ,  $b_2 = 0.7$ ,  $K_1 = 1$ ,  $K_2 = 0.5$ ,  $D_1 = 0.001$ ,  $D_2 = 0.001$ .

**Интерференционная конкуренция**

В модели интерференционной конкуренции предполагается, что в отсутствие ресурса популяции не взаимодействуют между собой, а изменение их численности описывается логистическим уравнением. При больших объемах ресурса его количество не сказывается на взаимодействии популяций. С учетом этих предположений модель конкуренции двух популяций на неподвижном трофическом ресурсе записывается в форме системы трех нелинейных уравнений

$$\begin{aligned}\frac{\partial u_1}{\partial t} &= D_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} + \mu_1 u_1 \left(1 - \frac{u_1}{K_1}\right) - a_{12} \frac{S}{b_1 + S} u_1 u_2, \\ \frac{\partial u_2}{\partial t} &= D_2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} + \mu_2 u_2 \left(1 - \frac{u_2}{K_2}\right) - a_{21} \frac{S}{b_2 + S} u_1 u_2, \\ \frac{\partial S}{\partial t} &= - \left( \gamma_1 a_{12} \frac{S}{b_1 + S} + \gamma_2 a_{21} \frac{S}{b_2 + S} \right) u_1 u_2 + \mu_S S (1 - S/K),\end{aligned}\quad (11)$$

где  $u_1$  и  $u_2$  - число особей на единицу длины, параметры  $\mu_1, \mu_2, \mu_S, K_1, K_2, K, D_1, D_2, b_1, b_2$  трактуются так же как и в эксплуатационной модели,  $a_{12}, a_{21}, \gamma_1, \gamma_2$ , - положительные постоянные.

К системе уравнений (3) добавляются граничные условия (4) и начальные условия (5).

В локальной модели, следующей из (11) при  $D_1 = 0$  и  $D_2 = 0$ , стационарное нетривиальное решение находится из системы трансцендентных уравнений

$$\begin{aligned}u_1 &= \frac{1}{D} K_1 \left(1 - K_2 \frac{a_{12}}{\mu_1} \frac{S}{b_1 + S}\right), \\ u_2 &= \frac{1}{D} K_2 \left(1 - K_1 \frac{a_{21}}{\mu_2} \frac{S}{b_2 + S}\right), \\ - \left( \gamma_1 a_{12} \frac{1}{b_1 + S} + \gamma_2 a_{21} \frac{1}{b_2 + S} \right) u_1 u_2 + \mu_S (1 - S/K) &= 0,\end{aligned}\quad (12)$$

где  $D = 1 - K_1 K_2 \frac{a_{21}}{\mu_2} \frac{S}{b_2 + S} \frac{a_{12}}{\mu_1} \frac{S}{b_1 + S}$ .

При  $S = 0$  из (11) следует модель двух независимых популяций. В неподвижной точке  $u_1 = K_1, u_2 = K_2, S = 0$  собственными значениями матрицы Якоби локальной модели будут

$$\lambda_1 = -\mu_1, \lambda_2 = -\mu_2, \lambda_3 = \mu_S - \left( \gamma_1 \frac{a_{12}}{b_1} + \gamma_2 \frac{a_{21}}{b_2} \right) K_1 K_2.$$

Это положения равновесия будет устойчивым при выполнении неравенства

$$\mu_S < \left( \gamma_1 \frac{a_{12}}{b_1} + \gamma_2 \frac{a_{21}}{b_2} \right) K_1 K_2 \quad (13)$$

То есть при медленном восполнении трофического ресурса он постепенно будет исчерпан. Если неравенство (13) не выполняется, тогда правая часть третьего уравнения в (12) на промежутке  $[0, K]$  будет менять знак. Соответственно это уравнение будет иметь нетривиальное решение  $S = S_* < K$ .

В неподвижной точке  $u_1 = K_1, u_2 = 0, S = K$

$$\lambda_1 = -\mu_1, \lambda_2 = \mu_2 - a_{21} \frac{K}{b_2 + K} K_1, \lambda_3 = -\mu_S.$$

Выполнение неравенства

$$\mu_2 < a_{21} \frac{K}{b_2 + K} K_1$$

обеспечивает устойчивость этой неподвижной точки.

То есть при медленном восполнении численности второй популяции или при большой емкости среды первой популяции вторая постепенно исчезнет.

Неподвижная точка

$$u_1 = 0, u_2 = 0, S = K$$

будет неустойчивой в силу положительности характеристических значений  $\lambda_1 = \mu_1$  и  $\lambda_2 = \mu_2$  матрицы Якоби. То есть при одновременном возникновении на трофическом ресурсе двух малочисленных популяций их численность начнет увеличиваться при незначительном влиянии конкурентного взаимодействия.

Возникновение конкуренции на появившемся ресурсе (при  $t = 0$   $u_1 = K_1$ ,  $u_2 = K_2$ ,  $S = S_0(t = 0, x)$ ) может сопровождаться его постепенным уничтожением (при выполнении неравенства (13)) и прекращением конкуренции, или его увеличением (при нарушении неравенства (13)) с продолжающейся конкуренцией или с подавлением одной из популяций другой за счет большой емкости собственной среды.

При начальных условиях (5) первые два уравнения в (11) в линейном приближении приводятся к системе двух несвязанных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta u_1}{\partial t} &= D_1 \frac{\partial^2 \delta u_1}{\partial x^2} + \mu_1 \delta u_1, \\ \frac{\partial \delta u_2}{\partial t} &= D_2 \frac{\partial^2 \delta u_2}{\partial x^2} + \mu_2 \delta u_2 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что у малочисленных популяций конкуренция является эффектом второго порядка малости. Распространение на отрезок в первом приближении для начальных условий (5) происходит с скоростями

$$v_1 = \sqrt{4\mu_1 D_1} \text{ и } v_2 = \sqrt{4\mu_2 D_2}.$$

#### Автоволновое решение

Автоволновое решение уравнений (11) представляется в виде функций одного аргумента  $u_1 = u_1(x - v_1 t)$ ,  $u_2 = u_2(x - v_2 t)$ , а искомые функции находятся их уравнений

$$\begin{aligned} D_1 \frac{d^2 u_1}{dz_1^2} + v_1^1 \frac{du_1}{dz_1} + \mu_1 u_1 \left(1 - \frac{u_1}{K_1}\right) - a_{12} \frac{S}{b_1 + S} u_1 u_2 &= 0, \\ D_2 \frac{d^2 u_2}{dz_2^2} + \frac{du_2}{dz_2} + \mu_2 u_2 \left(1 - \frac{u_2}{K_2}\right) - a_{21} \frac{S}{b_2 + S} u_1 u_2 &= 0, \\ \frac{dS}{dt} = - \left( \gamma_1 a_{12} \frac{S}{b_1 + S} + \gamma_2 a_{21} \frac{S}{b_2 + S} \right) u_1 u_2 + \mu_S S (1 - S/K), \end{aligned} \tag{14}$$

где  $z_1 = x - v_1 t$ ,  $z_2 = x - v_2 t$ .

Условия для решений этих уравнений (предполагается, что положение равновесия (12) существует и оно устойчивое):

1. При  $z_{1,2} = -\infty$   $u_1$ ,  $u_2$  и  $S$  являются решением системы уравнений (12).

2. При  $z_{1,2} = \infty$

$$u_1 = 0, u_2 = 0, S = K.$$

Первая стационарная точка в локальной модели устойчивая. Поэтому одно из собственных значений системы уравнений (14) будет отрицательным в этой точке. Соответственно в окрестности этой точки можно построить убывающее решение.

Распространение автоволн происходит с разными скоростями. Пусть  $v_2 < v_1$ . Тогда конкуренции в зоне опережения первой волной вторую нет. Скорость распространения первой волны будет  $v_1 = 2\sqrt{\mu_1 D_1}$  [6], [7].

Поскольку вторая автоволна «догоняет» первую, то при  $z_{1,2} = \infty$  для нее должны выполняться условия:  $u_1 = K_1$ ,  $S = K$ ,  $u_2 = 0$ . Малое возмущение  $\delta u_2$  при этих условиях должно удовлетворять линеаризованному второму уравнению в (14)

$$D_2 \frac{d^2 \delta u_2}{dz_2^2} + v_2 \frac{d \delta u_2}{dz_2} + \left( \mu_2 - a_{21} \frac{K}{b_2 + K} K_1 \right) \delta u_2 = 0,$$

Характеристические числа этого уравнения будут иметь отрицательные корни при выполнении неравенства

$$v_2 > 2 \sqrt{D_2 \left( \mu_2 - a_{21} \frac{K}{b_2 + K} K_1 \right)}$$

и при условии, что  $\mu_2 > a_{21} \frac{K}{b_2 + K} K_1$ , которое является условием неустойчивости положения равновесия с  $u_2$  в

локальной модели. Это условие допускает построение убывающего в точке  $z_{1,2} = \infty$  решения.

На рисунке при  $t=0.4$ ,  $\gamma=1.5$ ,  $\mu_1=200$ ,  $\mu_2=600$ ,  $\mu_S=400$ ,  $b_1=1.0$ ,  $b_2=0.7$ ,  $a_{12}=100$ ,  $a_{21}=300$ ,  $K_1=1$ ,  $K_2=0.5$ ,  $D_1=0.001$ ,  $D_2=0.001$  отражено изменение функций  $u_1(x)$ ,  $u_2(x)$  и  $S(x)$  в при  $t=0.4$  на отрезке  $[0,1]$ . «Стрелками» отмечены направления движения автоволн. Решение уравнений (11) строилось в среде программирования математического пакета Matlab [9], использовалась встроенная функция `ode45` с числом узловых точек равным 1500. Численные значения скоростей распространения популяций, полученные на «мелких» сетках, превышают теоретические значения на 5-10%.

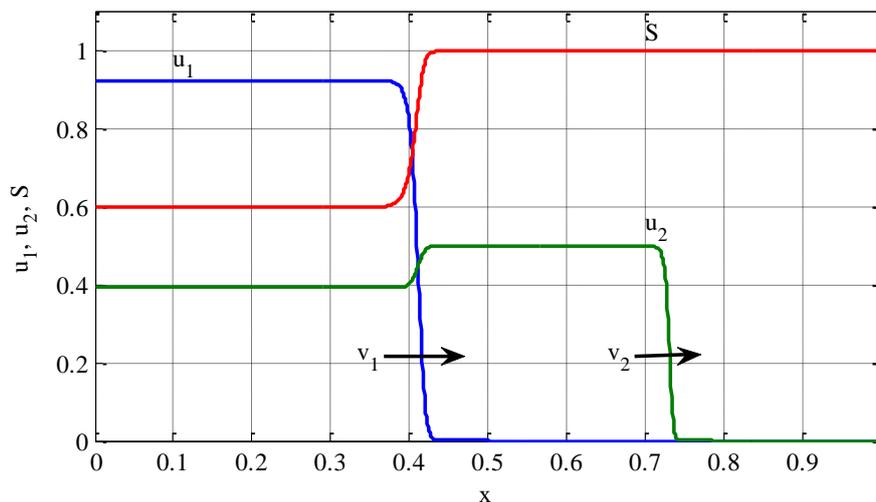


Рис. 2 – Графики зависимости функций  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  и  $S(t)$  в момент времени  $t=0.4$ ,  $\gamma=1.5$ ,  $\mu_1=200$ ,  $\mu_2=600$ ,  $\mu_S=400$ ,  $b_1=1.0$ ,  $b_2=0.7$ ,  $a_{12}=100$ ,  $a_{21}=300$ ,  $K_1=1$ ,  $K_2=0.5$ ,  $D_1=0.001$ ,  $D_2=0.001$

### Заключение

Модель эксплуатационной конкуренции объясняет одновременное существование конкурирующих популяций на общем ресурсе. Наибольшая численность достигается у популяции с более высокой скоростью роста и с большим потреблением трофического ресурса. В модели Вольтерра одна из популяций должна погибнуть. Эти же условия позволяют одну из конкурирующих популяций опережать другую в освоении новых территорий. В модели интерференционной конкуренции возможны различные варианты: популяция, имеющая меньшую емкость среды, может погибнуть; при медленном восстановлении трофического ресурса он может быть исчерпан; обе популяции постоянно конкурируют на трофическом ресурсе.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол\_a № 18-31-00323.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Acknowledgement

This work was supported by the RFBR grant mol\_a No. 18-31-00323.

### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / Вольтерра В.. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 288 с.
2. Александров А. Ю. Математическое моделирование и исследование устойчивости биологических сообществ / А. Ю. Александров, А. В. Платонов, В. Н. Старков, Н. А. Степенко. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 272 с.
3. Бигон М. Экология. Особи, популяції и сообщества: в двух томах / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсед. - М.: Мир, 1989. Т. 1. – 667 с. Т. 2. – 477 с.
4. Ghilarov A.M. In search of universal patterns in community organization: The concept of neutrality paved the way to a new approach / Ghilarov A.M. // Zhurnal Obshchei Biologii. – 2010. – V. 71. - N 5. – PP. 386-401. PubMed: 21061639.
5. Bazykin A.D. Nonlinear Dynamics of Interacting Populations. Singapore / Bazykin A.D., 1998. Ser. World Scientific Series on Non-Linear Science . 193 p. DOI: 10.1142/2284 ISBN 9789812798725.
6. Колпак Е. П. Математические модели одиночной популяции / Е. П. Колпак, Е. А., Ефремова. – Казань: Изд-во «Бук», 2017. – 122 с.
7. Murray J. D. Mathematical Biology / Murray J. D. New York: Springer-Verlag Heidelberg, 2002. – 776 p.
8. Feng-Bin Wang A system of partial differential equations modeling the competition for two complementary resources in flowing habitats / Feng-Bin Wang // J. Differential Equations. – 2010. - V. 249. – PP. 2866–2888.
9. Колпак Е. П. Вычисления в MatLab: учебное пособие / Е. П. Колпак. – Казань: Изд-во «Бук», 2016. – 184 с.

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

1. Volterra V. Matematicheskaya teoriya bor'by za sushchestvovaniye [Mathematical Theory of Struggle for Existence] Moscow-Izhevsk: Institute of Computer Science, 2004. – 288 p. [In Russian]
2. Alexandrov A. Yu. Matematicheskoye modelirovaniye i issledovaniye ustoychivosti biologicheskikh soobshchestv [Mathematical Modeling and Research of Biological Communities Stability] / A. Yu. Alexandrov, A. V. Platonov, V. N. Starkov, N. A. Stepenko. - 2<sup>nd</sup> ed., Corr. and added – SPb.: Lan publishing house, 2016. – 272 p. [In Russian]
3. Bigon M., Harper J., Townsend K. [Ecology. Individuals, Populations and Communities: in Two Volumes] / M. Bigon, J. Harper, C. Townsend. M.: Mir, 1989. V. 1. – 667 p. V. 2. – 477 p. [In Russian]
4. Ghilarov A.M. In search of universal patterns in community organization: The concept of neutrality paved the way to a new approach // Zhurnal Obshchei Biologii. – 2010. – V. 71. - N 5. – PP. 386-401. PubMed: 21061639.
5. Bazykin A.D. Nonlinear Dynamics of Interacting Populations. Singapore, 1998. Ser. World Scientific Series on Non-Linear Science . 193 p. DOI: 10.1142/2284 ISBN 9789812798725.
6. Kolpak E. P. Matematicheskoye modelirovaniye i issledovaniye ustoychivosti biologicheskikh soobshchestv [Mathematical Models of Single Population] / E. P. Kolpak, E. A., Efremova. – Kazan: Publishing house "Beech", 2017. – 122 p. [In Russian]
7. Murray J. D. Mathematical Biology. New York: Springer-Verlag Heidelberg, 2002. – 776 p.
8. Feng-Bin Wang A system of partial differential equations modeling the competition for two complementary resources in flowing habitats / Feng-Bin Wang // J. Differential Equations. – 2010. - V. 249. – PP. 2866–2888.
9. Kolpak E.P. Vychisleniya v MatLab: uchebnoye posobiye [Calculations in MatLab: Study Guide] / E.P. Kolpak. – Kazan: Publishing house "Buk", 2016. - 184 p. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.004>**О НАИЛУЧШЕЙ АППРОКСИМАЦИИ АБСОЛЮТНО МОНОТОННЫМИ ФУНКЦИЯМИ НА ПОЛУОСИ**

Научная статья

**Федоров В.М. \***

ORCID: 0000-0002-4586-6591,

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

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

**Аннотация**

Основной результат статьи (теорема 2) состоит в том, что в пространстве  $C(I)$  непрерывных функций на отрезке  $I = [0, \infty]$  конус  $K \subset C(I)$ , состоящий из абсолютно монотонных функций является *чебышевским*, т.е. для каждой непрерывной функции  $f \in C(I)$  найдется единственная абсолютно монотонная функция  $\varphi \in K$  наилучшего равномерного приближения на отрезке  $I$ . При этом в доказательстве будет использован специальный критерий единственности наилучшего приближения клином (теорема 1). Этот критерий может быть использован при доказательстве единственности наилучшего приближения для других конусов, состоящих из непрерывных функций.

**Ключевые слова:** наилучшее равномерное приближение, опорный клин, опорная плоскость, непрерывная функция, абсолютно монотонная функция.

**ON THE BEST APPROXIMATION BY ABSOLUTELY MONOTONIC FUNCTIONS ON SEMIAXIS**

Research article

**Fedorov V.M. \***

ORCID: 0000-0002-4586-6591,

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

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

**Abstract**

The main result of the paper (Theorem 2) is that in the space  $C(I)$  of continuous functions on the interval  $I = [0, \infty]$ , the cone  $K \subset C(I)$  consisting of absolutely monotone functions is *Chebyshev*, that is, for each continuous function  $f \in C(I)$  there is a unique absolutely monotonic function  $\varphi \in K$  of the best uniform approximation on the interval  $I$ . In the proof, we use a special criterion for the uniqueness of the best approximation by the wedge (Theorem 1). This criterion can be used in proving the uniqueness of the best approximation for other cones consisting of continuous functions.

**Keywords:** best uniform approximation, reference wedge, reference plane, continuous function, absolutely monotonic function.

**Введение**

Множество в нормированном пространстве называется *чебышевским*, если оно обладает свойствами существования и единственности для наилучшего приближения любого элемента этим множеством. Доказательство этих свойств для бесконечномерных множеств в нормированном пространстве и, в частности, в пространстве непрерывных функций, является трудной математической задачей. Вначале мы рассмотрим задачу наилучшего приближения клином в абстрактном нормированном пространстве.

Пусть  $E$  – нормированное пространство над полем действительных чисел  $\mathbb{R}$ . Непустое подмножество  $K \subset E$  называется клином, если  $x + y, tx \in K$  при всех  $x, y \in K$  и  $t \in \mathbb{R}_+$  [1, с. 39]. Клин  $K \subset E$  называется *конусом*, если не содержит нетривиальных линейных подпространств, т.е. пересечение  $K \cap (-K) = 0$  равно нулю. Обозначим через  $K^\circ \doteq \{\alpha \in E^* | \alpha(x) \leq 0, x \in K\}$  полярный\* клин (конус) в сопряженном пространстве  $E^*$  к пространству  $E$  [1, с. 33]. Если клин  $K \subset E$  является подпространством, то полярный\* клин  $K^\circ$  совпадает с аннулятором\*  $K^\perp \doteq \{\alpha \in E^* | \alpha(x) = 0, x \in K\}$  (см. также [2, с. 198] и [3, с. 160]).

Экстремальные множества функционала  $\alpha \in E^*$  и вектора  $x \in E$  задаются формулами  $\Xi(\alpha) \doteq \{x \in S | \alpha(x) = \|\alpha\|\}$  и  $\Xi^*(x) \doteq \{\alpha \in S^* | \alpha(x) = \|x\|\}$ , где  $S$  и  $S^*$  замкнутые единичные шары в  $E$  и  $E^*$  соответственно. Если  $\Xi(\alpha) \neq \emptyset$  не пусто, то функционал называется *опорным*. Обозначим через  $\nabla_p K = \text{cone}(K - p)$  *опорный клин в точке*  $p \in K$ , т.е. коническую оболочку множества  $K - p$ , а через  $\Pi_p K = \nabla_p K \cap (-\nabla_p K)$  *опорную плоскость в точке*  $p \in K$ , т.е. наибольшее действительное линейное подпространство, содержащееся в опорном клине.

**Лемма 1**

Замкнутый клин  $K \subset E$  в нормированном пространстве  $E$  тогда только тогда обладает свойством единственности наилучшего приближения, когда для любой точки  $p \in K$  и для каждого ненулевого опорного функционала  $\alpha \in \nabla_p K$  пересечение  $(\Xi(\alpha) - \Xi(\alpha)) \cap \Pi_p K = 0$  равно нулю.

**Доказательство.** Необходимость. Пусть  $\alpha \in \nabla_p K$  и  $\|\alpha\| = 1$ . Допустим, что множество  $\Xi(\alpha)$  имеет две различные точки  $x, y \in \Xi(\alpha)$ , т.ч.  $z = x - y \in \Pi_p K$ . В силу его выпуклости  $x - tz \in \Xi(\alpha)$  при всех  $0 \leq t \leq 1$ . Поэтому  $\|x - tz\| = 1$  и  $\|x - v\| \geq \alpha(x - v) = \alpha(x) - \alpha(v) \geq \alpha(x) = 1$  при всех  $v \in \nabla_p K$ , т.е. величина *нормы*  $\|x - tz\| = \rho(x, \nabla_p K) = 1$  совпадает с расстоянием от точки  $x$  до  $\nabla_p K$ .

Следовательно, мы имеем равенство  $\|(x + p) - (p + tz)\| = \rho(x + p, K) = 1$  при всех  $0 \leq t \leq 1$ . Поскольку выполняется включение  $p + tz \in K$  при достаточно малых  $t > 0$ , то клин  $K$  в пространстве  $E$  не обладает свойством единственности наилучшего приближения. Получили противоречие.

Достаточность. Если клин  $K$  не обладает свойством единственности, то в силу выпуклости существуют  $x \in E$ ,  $p \in K$  и  $z \in \nabla_p K \setminus 0$ , т.ч. при всех  $-1 \leq t \leq 1$  следует  $\|x - (p + tz)\| = \rho(x, K) = 1$ , где  $p + tz \in K$ . Поскольку  $\Pi_p K$  образует крайнее множество клина  $\nabla_p K$ , то  $z \in \Pi_p K$ . Полагая  $y_t = x - p - tz$ , мы имеем  $\|y_0\| = \rho(y_0, \nabla_p K) = \rho(x, K) = 1$ . По теореме отделимости выпуклых множеств [1, стр. 42] существует  $\alpha \in \nabla_p^* K$ , т.ч.  $\alpha(y_0) = \|\alpha\| = 1$ . Поскольку  $\Xi(\alpha)$  является крайним множеством шара  $S$ , то  $y_t \in \Xi(\alpha)$  при всех  $-1 \leq t \leq 1$ . Таким образом,  $z \in (\Xi(\alpha) - \Xi(\alpha)) \cap \Pi_p K$ , что противоречит нашему предположению.

**Теорема 1**

Замкнутый клин  $K \subset C(T)$  в пространстве  $C(T)$  непрерывных функций на компакте  $T$  в том и только в том случае не обладает свойством единственности наилучшего приближения, когда существуют точка  $p \in K$ , ненулевой опорный функционал  $\alpha \in \nabla_p^* K \setminus 0$  и ненулевая функция  $\varphi \in \Pi_p K \setminus 0$ , т.ч.  $\text{supp}(\alpha) \subset \text{zero}(\varphi)$ , где  $\text{supp}(\alpha)$  носитель  $\alpha$ , а  $\text{zero}(\varphi)$  множество нулей  $\varphi$ .

*Доказательство.* Необходимость. В силу леммы 1 существуют точка  $p \in K$  и ненулевой опорный функционал  $\alpha \in \nabla_p^* K$ , т.ч.  $(\Xi(\alpha) - \Xi(\alpha)) \cap \Pi_p K \neq 0$  не равно нулю. Обозначим через  $\mu$  представляющую меру функционала  $\alpha$  [1, с. 55]. Мы можем считать, что  $\|\alpha\| = |\mu|(T) = 1$ . Тогда существуют две различные функции  $\varphi_1, \varphi_2 \in \Xi(\alpha)$ , т.ч.  $\psi = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi_2) \in \Xi(\alpha)$  и  $\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_1 - \varphi_2) \in \Pi_p K$ . Поэтому  $\|\psi\| = \|\psi + \varphi\| = 1$ ,  $\alpha(\psi) = \langle \psi, \mu \rangle = 1$  и  $\alpha(\psi + \varphi) = \langle \psi + \varphi, \mu \rangle = 1$ . Отсюда получим  $\psi(t) = \text{sign} \mu(t) = \psi(t) + \varphi(t)$  при п.в.  $t \in T$  по мере  $|\mu|$  и, следовательно, имеем  $\varphi(t) = 0$  при п.в.  $t \in T$  по мере  $|\mu|$ . Таким образом, в силу непрерывности  $\varphi(t)$  выполняется включение  $\text{supp}(\alpha) \subset \text{zero}(\varphi)$ .

Достаточность. Рассмотрим ненулевой опорный функционал  $\alpha \in \nabla_p^* K \setminus 0$  и ненулевую функцию  $\varphi \in \Pi_p K \setminus 0$ , т.ч.  $\text{supp}(\alpha) \subset \text{zero}(\varphi)$ . Пусть  $\|\alpha\| = \|\varphi\| = 1$ . Поскольку  $\alpha$  является опорным, то существует  $\psi \in \Xi(\alpha)$ , т.ч.  $\alpha(\psi) = \|\psi\| = 1$ . Определим непрерывную функцию  $f(t) = \psi(t)(1 - |\varphi(t)|)$ . Тогда имеют место неравенства  $|f(t)| \leq 1 - |\varphi(t)| \leq 1$  и  $|f(t) - \varphi(t)| \leq |f(t)| + |\varphi(t)| \leq 1$  при всех  $t \in T$ . Так как непрерывная функция  $\psi(t) = \text{sign} \mu(t)$  при п.в.  $t \in T$  по мере  $|\mu|$ , то  $|\psi(t)| = 1$  при всех  $t \in \text{supp}(\alpha)$ . Поэтому получаем  $\|f\| = \|f - \varphi\| = 1$ . Поскольку  $\alpha(f) = \alpha(f + \varphi) = 1$ , то  $f, f + \varphi \in \Xi(\alpha)$  и, следовательно, функция  $\varphi \in (\Xi(\alpha) - \Xi(\alpha)) \cap \Pi_p K$ . Таким образом, в силу леммы 1 клин  $K \subset C(T)$  не обладает свойством единственности наилучшего приближения.

Рассмотрим в пространстве  $C(I)$  непрерывных функций на отрезке  $I = [0, \infty]$  конус  $K \subset C(I)$ , состоящий из ограниченных абсолютно монотонных функций, представимых интегралом Лапласа–Стилтьеса [4, с. 18]

$$\varphi(x) = \int_0^\infty e^{-tx} dF(t), \quad x \in I,$$

где  $F(t)$  ограниченная неубывающая функция на отрезке  $I$ . Если предположить, кроме того, что  $F(t)$  является непрерывной слева и  $F(0) = 0$ , то соответствие между неубывающими функциями  $F(t)$  и абсолютно монотонными функциями  $\varphi(x)$  будет взаимно однозначным. Поскольку по теореме Бернштейна функция абсолютно монотонна в том и только в том случае, когда она удовлетворяет некоторой системе неравенств конечных разностей [5, с. 252], то конус  $K$  является по точечно замкнутым и, следовательно, в силу теоремы Мазура он будет равномерно замкнутым в пространстве  $C(I)$  [6, с. 457].

Спектром  $\text{spec}(F)$  неубывающей функции  $F(t)$  называется множество точек роста этой функции, т.е. таких  $s \in I$ , что в любой ее окрестности найдутся точки  $t_1 < s$  или  $t_2 > s$ , для которых функция строго возрастает, т.е.  $F(t_1) < F(s)$  или  $F(t_2) > F(s)$  соответственно. Спектр для произвольной функции ограниченной вариации  $F \in BV(I)$  [1, с. 56] определяется спектром вариации  $V(t) = V_0^t F$ , т.е.  $\text{spec}(F) = \text{spec}(V)$ . По определению спектр абсолютно монотонной функции  $\varphi \in K$  совпадает со спектром соответствующей ей неубывающей функции  $F(t)$ .

**Лемма 2**

Опорная плоскость  $\Pi_p K$  конуса абсолютно монотонных функций в точке  $p \neq 0$  состоит из функций  $\varphi(x) = \int_0^\infty e^{-tx} dF(t)$ , где  $F \in BV(I)$  функция ограниченной вариации, т.ч.  $\text{spec}(F) \subset \text{spec}(P)$ , а  $P(t)$  — неубывающая функция на отрезке  $I$ , соответствующая абсолютно монотонной функции  $p \in K$ .

*Доказательство.* Пересечение  $\Theta_p K = \Pi_p K \cap K$  есть наибольшее выпуклое подмножество  $K$ , имеющее точку  $p \in K \setminus 0$  своей относительно окруженной точкой [2, с. 110]. Поэтому множество  $\Theta_p K$  образует замкнутую грань конуса  $K$  и его линейная оболочка  $\text{sp}(\Theta_p K) = \Theta_p K - \Theta_p K = \Pi_p K$ . Если неубывающая функция является суммой  $F(t) = F_1(t) + F_2(t)$  двух неубывающих функций, то в силу экстремального свойства грани  $\Theta_p K$  соответствующая ей абсолютно монотонная функция  $\varphi(x) = \varphi_1(x) + \varphi_2(x)$  в том и только в том случае принадлежит  $\varphi \in \Theta_p K$ , когда  $\varphi_1, \varphi_2 \in \Theta_p K$ . Следовательно, при всех  $s < s_n$  этой грани  $\Theta_p K$  принадлежат функции, представимые в следующем виде:

$$\varphi_n(x) = \int_0^\infty e^{-tx} dP_n(t), \quad \text{где } P_n(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq t \leq s; \\ \frac{P(t)-P(s)}{P(s_n)-P(s)}, & \text{если } s < t \leq s_n; \\ 1, & \text{если } s_n < t \leq \infty. \end{cases}$$

Если  $s \in \text{spec}(P)$  является точкой роста справа для  $P$ , то, переходя к пределу при  $s_n \rightarrow s$ , получим, что  $\varphi_n(x) \rightarrow e^{-sx}$  сходится при всех  $x \in I$ . Поэтому некоторая последовательность выпуклых комбинаций функций  $\varphi_n(x)$  сходится по норме к функции  $e^{-sx}$  (см. [6, с. 457] или [7, с. 216]). Поэтому имеет место  $e^{-sx} \in \Theta_p K$ . Аналогичное утверждение справедливо также для точек роста слева. Заметим, что  $e^{-sx} \notin \Theta_p K$  при всех  $s \notin \text{spec}(P)$ . В самом деле, так как

спектр замкнут, то существует окрестность  $O_s$  точки  $s$ , т.ч.  $O_s \cap \text{spec}(P) = \emptyset$ . В этой окрестности функция  $P(t)$  является константой и не может быть суммой двух возрастающих функций, отличных от констант. Таким образом, замкнутая коническая оболочка функций  $e^{-sx}$ , где  $s \in \text{spec}(P)$ , совпадает с замкнутой гранью  $\Theta_p K$  конуса  $K$ .

### Теорема 2

Конус  $K \subset C(I)$  абсолютно монотонных функций со спектром на отрезке  $I = [0, \infty]$  является чебышевским.

Доказательство. В начале докажем существование наилучшего приближения для любой функции  $f \in C(I)$ . Выберем последовательность функций  $\varphi_n \in K$ , т.ч.  $\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(f, \varphi_n) = \rho(f, K)$ , и обозначим через  $F_n(t)$  неубывающие функции на  $I$ , непрерывные слева и нормированные условием  $F_n(0) = 0$ , соответствующие  $\varphi_n$ . Так как  $F_n(t) \leq F_n(\infty) = \varphi_n(0) \leq |f(0)| + |f(0) - \varphi_n(0)| \leq \|f\| + \rho(f, \varphi_n)$  при всех  $t \in I$ , то последовательность функций  $F_n(t)$  равномерно ограничена и, следовательно, существует подпоследовательность  $F_{n_k}(t)$ , которая в каждой точке  $t \in I$  сходится к неубывающей функции  $F(t)$  (см. [8, с. 63] или [9, с. 207]). По теореме Хелли (см. [8, с. 65] или [9, с. 219]) абсолютно монотонные функции  $\varphi_{n_k}(x)$ , соответствующие  $F_{n_k}(t)$ , сходятся в каждой точке  $x \in I$  к абсолютно монотонной функции  $\varphi(x)$ , соответствующей  $F(t)$ . Следовательно, имеет место неравенство  $|f(x) - \varphi(x)| = \lim_{n \rightarrow \infty} |f(x) - \varphi_n(x)| \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(f, \varphi_n) = \rho(f, K)$  при всех  $x \in I$ . Отсюда вытекает равенство  $\rho(f, \varphi) = \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(f, \varphi_n) = \rho(f, K)$  и значит функция  $\varphi \in K$  является наилучшим приближением функции  $f$ .

Для доказательства единственности наилучшего приближения конусом  $K$  мы используем теорему 1. Допустим, что ненулевой опорный функционал  $\alpha \in \mathbb{V}_p K$  удовлетворяет условию  $\text{supp}(\alpha) \subset \text{zero}(\varphi)$ , где  $\varphi \in \Pi_p K$  некоторая ненулевая функция. Каждая ненулевая функция, принадлежащая опорной плоскости  $\Pi_p K$ , голоморфна в правой полуплоскости, при этом множество ее нулей на отрезке  $I$  не более, чем счётно, и не имеет предельных точек внутри этого отрезка. Пусть  $\text{zero}(\varphi) = \{x_n\}_{n=1}^{\infty}$  обозначает множество нулей функции  $\varphi(x)$ , упорядоченное в порядке возрастания. Поскольку носитель  $\text{supp}(\alpha) \subset \{x_n\}_{n=1}^{\infty}$ , то функционал  $\alpha$  представляется в виде суммы абсолютно сходящегося ряда  $\alpha = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \delta_{x_n}$ , где

$\delta_{x_n}$  обозначает функционал Дирака с носителем в точке  $x_n$  и  $a_n \in \mathbb{R}$ . Заметим, что по условию указанный функционал  $\alpha$  аннулирует опорную плоскость  $\Pi_p K$  и его норма определяется по формуле  $\|\alpha\| = \sum_{n=1}^{\infty} |a_n|$ . Поэтому в силу леммы 2 получим  $g(s) \doteq \alpha(e^{-st}) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-s x_n} = 0$  при всех  $s \in \text{spec}(P)$ . Поскольку множество нулей  $\text{zero}(g)$  голоморфной функции  $g(s)$  не более, чем счётно, и не содержит предельных точек внутри отрезка  $I$ , то этими же свойствами обладает и спектр  $\text{spec}(P)$  функции  $P(t)$ , соответствующей точке  $p \in K$ .

Если спектр  $\text{spec}(P)$  бесконечный, то последовательность чисел  $\{a_n\}_{n=1}^{\infty}$  будет иметь бесконечное число перемен знака [10, с. 60], что невозможно, так как функционал  $\alpha$  является опорным. Пусть спектр  $\text{spec}(P)$  является конечным и состоит из  $m$  точек  $\text{spec}(P) = \{s_n\}_1^m$ . Тогда последовательность  $\{a_n\}_{n=1}^{\infty}$  должна иметь, по крайней мере,  $m$  перемен знака и, следовательно, будет содержать, по крайней мере,  $m + 1$  ненулевых чисел. Так как по лемме 2 ненулевая функция  $\varphi \in \Pi_p K$  имеет вид  $\varphi(x) = \sum_{n=1}^m b_n e^{-s_n x}$ , то она должна иметь, по крайней мере,  $m + 1$  нулей  $x_n$  на отрезке  $I = [0, \infty]$ , что невозможно, поскольку  $\{e^{-s_n x}\}_{n=1}^m$  образует чебышевскую систему функций в  $[0, \infty)$  (см. [10, с. 54] и [11, с. 7]).

### Заключение

Доказанная теорема 2 допускает обобщение на случай, когда конус  $K$  состоит не из всех абсолютно монотонных функций, а только из тех, у которых спектр содержится в заданном замкнутом подмножестве отрезка  $I$ . При этом для доказательства нам потребуется произвести совсем небольшие изменения в приводимом выше доказательстве теоремы 2.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Дэй М. М. Нормированные линейные пространства. / М. М. Дэй. — М.: ИЛ, 1961. — 234 с.
2. Бурбаки Н. Топологические векторные пространства. / Н. Бурбаки. — М.: ИЛ, 1959. — 414 с.
3. Шефер Х. Топологические векторные пространства. / Х. Шефер. — М.: МИР, 1971. — 360 с.
4. Фелпс Р. Р. Лекции о теоремах Шоке. / Р. Р. Фелпс. — М.: МИР, 1968. — 112 с.
5. Ахиезер Н. И. Классическая проблема моментов. / Н. И. Ахиезер. — М.: ФИЗМАТГИЗ, 1961. — 312 с.
6. Данфорд Н., Шварц Дж. Линейные операторы. / Н. Данфорд, Дж. Шварц. — М.: ИЛ, 1962. — 896 с.
7. Люстерник Л. А., Соболев В. И. Элементы функционального анализа. / Л. А. Люстерник, В. И. Соболев. — М.: НАУКА, 1965. — 520 с.
8. Гливенко В. И. Интеграл Стильтеса. / В. И. Гливенко. — М.: ЛКИ, 2007. — 218 с.
9. Натансон И. П. Теория функций вещественной переменной. / И. П. Натансон. — М.: НАУКА, 1974. — 480 с.
10. Полия Г., Сеге Г. Задачи и теоремы из анализа. Часть вторая. Теория функций. Распределение нулей. Полиномы. Определители. Теория чисел. / Г. Полия, Г. Сеге. — М.: НАУКА, 1978. — 432 с.
11. Бернштейн С. Н. Экстремальные свойства полиномов. / С. Н. Бернштейн. — Л.-М.: НКТП, 1937. — 204 с.

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

1. Day M.M. Normirovannyye lineynyye prostranstva [Normalized Linear Spaces] / M.M. Day. — М.: ИЛ, 1961. — 234 p. [In Russian]
2. Bourbaki N. Topologicheskkiye vektornyye prostranstva [Topological Vector Spaces] / N. Bourbaki. — М.: ИЛ, 1959. — 414 p. [In Russian]
3. Schaefer H. Topologicheskkiye vektornyye prostranstva [Topological Vector Spaces] / H. Schaefer — М.: MIR, 1971. — 360 p. [In Russian]

4. Phelps R. R. Lektsii o teoremakh Shoke [Lectures on Choquet's Theorems] / R.R. Phelps. – М.: MIR, 1968. – 112 p. [In Russian]
5. Akhiezer N. I. Klassicheskaya problema momentov [Classical Problem of Moments] / N.I. Akhiezer. – М.: FIZMATGIZ, 1961. – 312 p. [In Russian]
6. Dunford N., Schwartz J. Lineynyye operatory [Linear operators] / N. Dunford, J. Schwartz. – М.: IL, 1962. – 896 p. [In Russian]
7. Lyusternik L. A., Sobolev V. I. Elementy funktsional'nogo analiza [Elements of Functional Analysis] / L.A. Lyusternik, V.I. Sobolev. – М.: SCIENCE, 1965. – 520 p. [In Russian]
8. Glivenko V.I. Integral Stilt'yesa [Stieltjes Integral] / V.I. Glivenko. – М.: LKI, 2007. – 218 p. [In Russian]
9. Natanson I.P. Teoriya funktsiy veshchestvennoy peremennoy [Theory of Functions of a Real Variable] / I.P. Natanson. – М.: SCIENCE, 1974. – 480 p. [In Russian]
10. Polia G., Szege G. Zadachi i teoremy iz analiza. Chast' vtoraya. Teoriya funktsiy. Raspredeleniye nuley. Polinomy. Opredeliteli. Teoriya chisel [Problems and Theorems from Analysis. Part Two. Theory of Functions. The Distribution of Zeros. Polynomials Determinants. Number theory.] / G. Polia, G. Szego. – М.: SCIENCE, 1978. – 432 p. [In Russian]
11. S.N. Bernshtein Ekstremal'nyye svoystva polinomov [Extreme Properties of Polynomials] / S.N. Bernstein. – L. – М.: NKTP, 1937. – 204 p. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.005>**МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ТРЕХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЕ НИКЕЛЬ – КВАРЦ – НИКЕЛЬ**  
Научная статья**Маничева И.Н.<sup>1</sup>, Филиппов Д.А.<sup>2\*</sup>, Лалетин В.М.<sup>3</sup>,**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5282-2263;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-4359-7770;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-3531-0629;<sup>1,2</sup> Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия;<sup>3</sup> Институт технической акустики, Витебск, Беларусь

\* Корреспондирующий автор (Dmitry.Filippov[at]novsu.ru)

**Аннотация**

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований магнитоэлектрического эффекта в композитных трехслойных структурах никель – кварц – никель. Образцы в форме пластинки были изготовлены методом склеивания. Установлено, что в области электромеханического резонанса величина магнитоэлектрического коэффициента по напряжению составляла  $\alpha = 84,7 \text{ V / cm Oe}$ , при добротности  $Q = 93$ . Применение кварца в качестве пьезоэлектрического слоя позволяет получать величину магнитоэлектрического эффекта в композиционных структурах, сравнимую с лучшими образцами на основе цирконата-титаната свинца.

**Ключевые слова:** магнитоэлектрический эффект, магнитострикция, пьезоэлектричество, кварц, электромеханический резонанс.

**MAGNETOELECTRIC EFFECT IN THREE LAYER NICKEL – QUARTZ – NICKEL STRUCTURE**  
Research article**Manicheva I.N.<sup>1</sup>, Filippov D.A.<sup>2\*</sup>, Laletin V.M.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5282-2263;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-4359-7770;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-3531-0629;<sup>1,2</sup> Yaroslav-the-Wise Novgorod State University; Veliky Novgorod, Russia;<sup>3</sup> Institute of Technical Acoustics; Vitebsk, Belarus

\* Corresponding author (Dmitry.Filippov[at]novsu.ru)

**Abstract**

The results of theoretical and experimental studies of the magnetoelectric effect in composite three – layer structures of nickel - quartz-nickel are presented. Samples in the form of plates were made by gluing. At the electromechanical resonance region the value of the magnetoelectric voltage coefficient  $\alpha = 84.7 \text{ V / cm Oe}$ , with  $Q = 93$  was observed. Using the quartz as a piezoelectric layer allows to obtain the magnitude of the magnetoelectric effect in composite structures, comparable to the best samples based on lead zirconate-titanate.

**Keywords:** magnetoelectric effect, magnetostriction, piezoelectricity quartz, electromechanical resonance.

**Введение**

Интенсивное исследование перекрестных эффектов в композитных структурах, обусловленных механическим взаимодействием фаз, входящих в состав композита, привело к созданию нового направления в физике конденсированного состояния – стрейнтроники, в основе которого лежат методы деформационной инженерии [1, С. 1288]. Магнитоэлектрический (МЭ) эффект относится к одному из таких перекрестных эффектов и связывает между собой магнитные и электрические характеристики вещества. Он представляет особый интерес ввиду его перспективного использования при создании приборов твердотельной электроники, таких как гираторы [2, Р. 015004], управляемые электрическим полем катушки индуктивности [3, Р. 113502], датчики магнитного поля, чувствительность которых превосходит чувствительность датчиков Холла [4, Р. 244]. МЭ эффект в композитах возникает в результате механического взаимодействия магнитострикционной (МС) и пьезоэлектрической (ПЭ) фаз. Механические деформации, вызываемые в МС фазе переменным магнитным полем передаются через границу раздела в ПЭ фазу, приводя к изменению поляризации и возникновению электрического напряжения. МЭ композиты делят на объемные и слоистые. Объемные композитные структуры, полученные по керамической технологии методом спекания смесей порошков МС и ПЭ компонентов, достаточно просты в изготовлении, обладают хорошими механическими свойствами [5, С. 47]. Слоистые композиты, состоящие из чередующихся слоев МС и ПЭ фаз, имеют ряд преимуществ по сравнению с объемными МЭ композитами: легко поляризуются, обладают малыми токами утечки [6, С. 214408]. В качестве МС фазы можно применять материалы с большим коэффициентом магнитострикции (никель, пермендюр аморфные и редкоземельные сплавы) [7, С. 2076], [8, С.123918], [9, С. 497]. В качестве пьезоэлектрика используют материалы, обладающие высоким значением пьезомодуля (цирконат-титанат свинца – РЗТ, кристаллы лангата, ниобата лития и т.д.) [10, С. 224]. Выбор никеля в качестве материала для МС фазы обусловлен максимальной величиной коэффициента магнитострикции при малых значениях напряженности поля подмагничивания. Величина МЭ эффекта прямо пропорциональна величине пьезомодуля и обратно пропорциональна значению диэлектрической проницаемости пьезоэлектрика [11, С. 2168]. Несмотря на небольшое значение пьезомодуля кварца ( $d = 2,3 \text{ pC/N}$ ) и значение диэлектрической проницаемости ( $\epsilon = 4,5$ ), его использование в качестве подложек для изготовления МЭ структур может показывать большие значения МЭ эффекта. Кроме того,

кварц является монокристаллом с более стабильными свойствами, в отличие от ЦТС, исключает операцию предварительной поляризации, что значительно упрощает процесс изготовления слоистых МЭ структур.

Исследованная трехслойная структура схематически изображена на рис. 1.

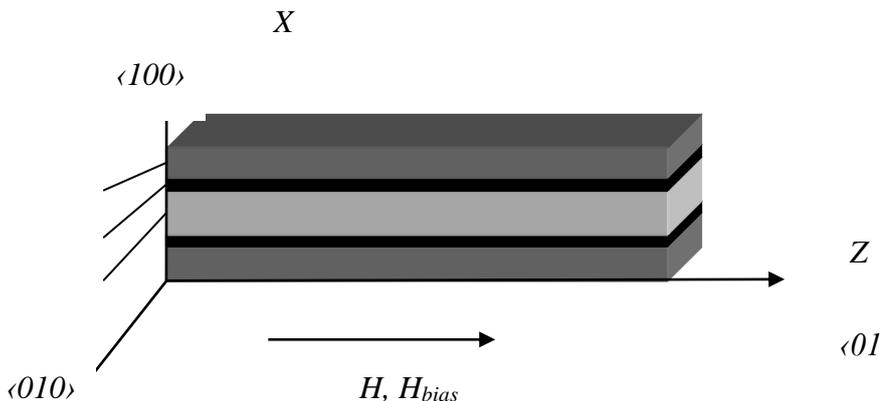


Рис.1 – Схематичное изображение структуры  
1 – МС слой, 2– слой клея, 3 – ПЭ слой

В качестве пьезоэлектрика использован образец, вырезанный из пластины кварца (X-срез) в форме параллелепипеда с размерами  $20 \times 4.5 \times 0.5$  mm, длинная сторона которого совпадает с направлением  $\langle 011 \rangle$ . Он расположен между двумя пластинами никеля толщиной по 0,25 mm, которые присоединены к кварцевой пластине при помощи эпоксидного клея. В структуре возникают планарные и толщинные колебания. Для планарных колебаний характерные резонансные частоты определяются длиной и шириной образца, для толщинных колебаний – толщиной структуры. Если считать образец длинным и узким, т.е.  $L \gg W, t$ , то частота резонанса для колебаний, распространяющихся по длине образца, будет много меньше частоты колебаний, распространяющихся по ширине и толщине образца и в первом приближении их можно рассматривать как независимые. При распространении колебаний по длине образца имеют место планарные колебания, которые связаны с однородной деформацией типа растяжение – сжатие, и изгибные колебания, связанные с деформациями типа изгиба. Возбуждение колебаний в структуре происходит путем их возбуждения в МС фазе и передачи посредством касательных напряжений в ПЭ слой. Поскольку рассматриваемая структура является симметричной относительно ПЭ подсистемы, то возбуждение колебаний в пьезоэлектрике будет осуществляться одновременно с обеих сторон. В симметричной структуре изгибные колебания возбуждаться не будут и можно рассматривать только планарные колебания. Поэтому исследуемый многослойный образец, можно представить в виде структуры пьезоэлектрик – соединительный слой – магнетик (рис. 2) с учетом только планарных колебаний.

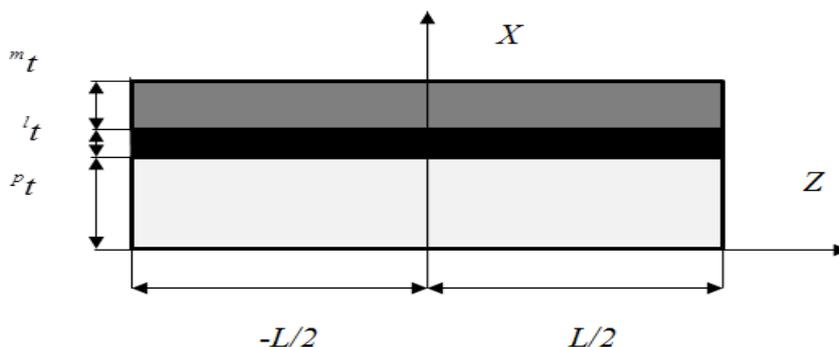


Рис. 2 – Схематичное изображение модели многослойной структуры

Для нахождения МЭ коэффициента по напряжению сэндвич структуры воспользуемся методом, разработанным ранее в работах [12, С. 1730], [13, С. 1088]. Поскольку толщина ПЭ, МС и соединительного слоя много меньше длины образца, поэтому в первом приближении можно считать, что смещения слоев одинаковы. В этом приближении уравнение движения для z- проекции вектора смещения среды имеют вид:

$$\bar{\rho} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} = \frac{\partial \bar{T}_{zz}}{\partial z} \quad (1)$$

где  $\bar{\rho} = (\rho^m t + \rho^p t + \rho^l t) / (m t + p t + l t)$  – среднее значение плотности структуры, и  $\bar{T}_{zz} = (T_{zz}^m t + T_{zz}^p t + T_{zz}^l t) / (m t + p t + l t)$  – среднее значение тензора напряжений структуры,  $m t$ ,  $p t$ ,  $l t$  – толщина магнетика, пьезоэлектрика и клеевого слоев соответственно. Уравнения для тензора деформаций ПЭ фазы  ${}^p S_{zz}$ , МС фазы  ${}^m S_{zz}$ , и  $x$ -проекции вектора электрической индукции  ${}^p D_x$  в этом приближении имеют вид:

$${}^p S_{zz} = \frac{1}{{}^p Y} {}^p T_{zz} + d_{x,zz} E_x, \quad (2)$$

$${}^m S_{zz} = \frac{1}{{}^m Y} {}^m T_{zz} + q_{z,zz} H_z \quad (3)$$

$${}^p D_x = \varepsilon_{xx} E_x + d_{x,zz} {}^p T_{zz} \quad (4)$$

где  ${}^p T_{zz}$ ,  ${}^m T_{zz}$ ,  ${}^p Y$ ,  ${}^m Y$  – компоненты тензора напряжений и модули Юнга ПЭ и МС фаз;  $d_{x,zz}$ ,  $q_{z,zz}$  – ПЭ и пьезомагнитный коэффициенты,  $\varepsilon_{xx}$  – тензор диэлектрической проницаемости.

Компоненты ПЭ тензора в системе координат  $XYZ$  связаны с компонентами тензора в кристаллографической системе координат соотношением в виде:

$$d_{x,zz} = d_{14} \beta_{z2} \beta_{z3} \quad (5)$$

где  $\beta_{z2}$ ,  $\beta_{z3}$  – матрица косинусов между осью  $Z$  и осями 2 и 3 (между направлением  $\langle 011 \rangle$  и направлениями  $\langle 010 \rangle$  и  $\langle 001 \rangle$ ).

Решение уравнения (1) для вектора смещения среды представим в виде плоских волн, распространяющихся вдоль длины образца:

$$u_z(z) = A \cos(kz) + B \sin(kz) \quad (6)$$

где  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования. Подставляя выражение (6) в уравнение (1), получим выражение для дисперсионного соотношения:

$$\omega = \sqrt{\frac{{}^m Y m t + {}^l Y l t + {}^p Y p t}{m \rho^m t + l \rho^l t + p \rho^p t}} k \quad (7)$$

Используя условия механического равновесия на торцах образца, в точках  $z = \pm L/2$  получаем граничные условия:

$$\int_0^{p t} {}^p T_{zz}(\pm L/2, x) dx + \int_{p t}^{l t} {}^l T_{zz}(\pm L/2, x) dx + \int_{l t}^{m t} {}^m T_{zz}(\pm L/2, x) dx = 0 \quad (8)$$

Для постоянных интегрирования  $A$  и  $B$  получим:

$$A = 0, \quad B = \frac{{}^m Y m t q_{z,zz} {}^m H_x + {}^p Y p t d_{x,zz} E_x}{k \cos(\kappa)} \frac{1}{({}^m Y m t + {}^l Y l t + {}^p Y p t)}, \quad (9)$$

где введен параметр  $\kappa = kL/2$ . Выражая компоненту тензора напряжений через компоненты тензора деформаций и подставляя выражение в уравнение для нормальной компоненты вектора электрической индукции, получим:

$${}^p D_x = \varepsilon_{xx} E_x + {}^p Y d_{x,zz} \frac{\partial {}^p u_z}{\partial z} - {}^p Y (d_{x,zz})^2 {}^p E_x. \quad (10)$$

Воспользуемся условием разомкнутой цепи, а именно:

$$I = \iint \frac{\partial D_x}{\partial t} dz dy = 0 \quad (11)$$

Подставляя выражение (10) в уравнение (11) и проинтегрировав, получим выражение для определения напряженности электрического поля:

$${}^p E_x = \frac{{}^p Y d_{x,zz} q_{z,zz} {}^m H_x}{{}^m Y {}^m t + {}^l Y {}^l t + {}^p Y {}^p t} \frac{\tan(\kappa)}{\kappa}, \quad (12)$$

где введено обозначение

$$\Delta = 1 - k_p^2 \frac{{}^p Y {}^p t}{{}^m Y {}^m t + {}^l Y {}^l t + {}^p Y {}^p t} \frac{\tan(\kappa)}{\kappa} \quad (13)$$

где  $k_p^2 = \frac{d_{x,zz}^2 {}^p Y}{{}^m \epsilon_{xx}}$  – квадрат коэффициента электромеханической связи.

Используя определение МЭ коэффициента, как  $\alpha_E = \langle E \rangle / \langle H \rangle$  получим:

$$\alpha_E = \frac{{}^p Y d_{x,zz} q_{z,zz} {}^m Y {}^m t}{{}^m \epsilon_{xx} \Delta ({}^m Y {}^m t + {}^l Y {}^l t + {}^p Y {}^p t)} \frac{\tan(\kappa)}{\kappa} \quad (14)$$

Когда параметр  $\Delta = 0$ , имеет место резонансное увеличение МЭ

коэффициента по напряжению. Поскольку  $k_p^2 \ll 1$ , то резонансное увеличение МЭ эффекта происходит при значении  $\kappa \approx \pi/2$ , что соответствует условию, когда на длинной стороне образца укладывается половина длины волны. Используя дисперсионное соотношение (7) для резонансной частоты получим:

$$f_{res} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{{}^m Y {}^m t + {}^l Y {}^l t + {}^p Y {}^p t}{{}^m \rho {}^m t + {}^l \rho {}^l t + {}^p \rho {}^p t}} \quad (15)$$

Выражение (15) показывает, что резонансная частота зависит от модуля Юнга, толщины каждого слоя и длины образца.

Для определения частотной и полевой зависимости МЭ эффекта использовался метод регистрации переменного электрического напряжения на образце при помещении его в постоянное подмагничивающее поле напряженностью  $H_{bias}$  и переменное магнитное поле  $H$ , направленные вдоль длинной стороны образца. На рис. 3 приведена частотная зависимость МЭ эффекта в области резонанса.

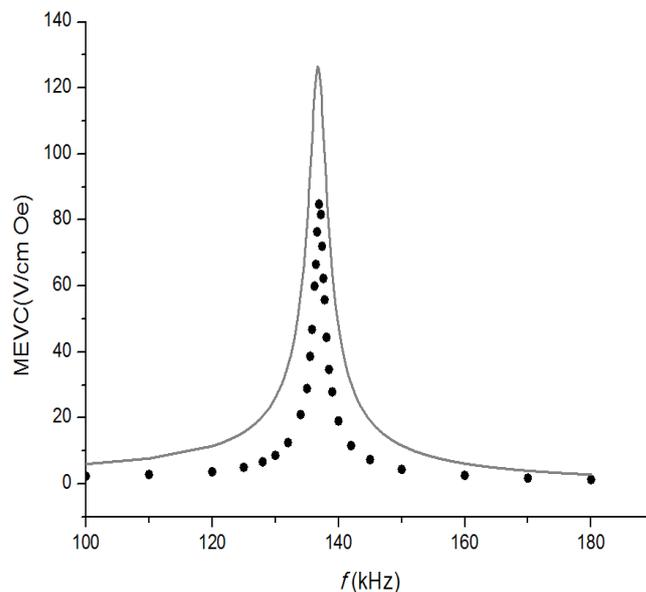


Рис. 3 – Частотная зависимость МЭ коэффициента по напряжению (MEVC) в области электромеханического резонанса

Как видно из графика, в полном соответствии с теорией, на частоте 138 kHz наблюдается пиковое увеличение МЭ коэффициента по напряжению, обусловленное наличием электромеханического резонанса. Значения резонансной частоты, рассчитанное теоретически и полученное экспериментально, хорошо согласуются между собой. Небольшое отличие наблюдается в величине значения МЭ коэффициента по напряжению. Это отличие обусловлено тем, что амплитудное значение МЭ коэффициента по напряжению прямо пропорционально произведению пьезоэлектрического и пьезомагнитного коэффициентов. Если величина пьезоэлектрического коэффициента определяется достаточно точно, то величина пьезомагнитного коэффициента зависит от величины поля подмагничивания и определяется путем дифференцирования кривой магнитострикции, в результате чего возникает погрешность в определении его величины. Кроме того, амплитудное значение МЭ коэффициента по напряжению при резонансе очень сильно зависит от параметра затухания, который также определяется недостаточно точно. Совокупность этих факторов и приводит к различию между теорией и экспериментом.

#### Заключение

Таким образом, слоистая композиционная структура, где в качестве ПЭ фазы использован кварц, имеет добротность  $Q = 93$ , что превышает добротность клеевой структуры Ni – ЦТС – Ni более чем в 1,5 раза [14, С. 103]. Значение МЭ коэффициента по напряжению в области электромеханического резонанса структуры на основе кварца также превосходит величину для структуры на основе ЦТС в 15 раз, что позволяет слоистым композиционным МЭ структурам Ni – Q – Ni найти широкое применение в стрейнтронике и спинтронике [15, С. 344].

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Бухараев А.А. Стрейнтроника – новое направление микро- и нанoeлектроники и науки о материалах / А.А. Бухараев, А.К. Звездин, А.П. Пятаков, Ю.К. Фетисов // УФН. – 2018. – Т. 188. - №12. – С. 1288 - 1330.
2. Zhang J. Highly efficient power conversion in magnetoelectric gyrators with high quality factor / J. Zhang, W. Zhu, D.A. Filippov, W. He, D. Chen, K. Li, S. Geng, Q. Zhang, L. Jiang, L. Cao, R. Timilsina, and G. Srinivasan // Rev. Sci. Instrum. – 2019. – Vol. 90. – P. 015004.
3. Zhang J. Bidirectional tunable ferrite-piezoelectric trilayer magnetoelectric inductors / J. Zhang, D. Chen, D. A. Filippov, K. Li, Q. Zhang, L. Jiang, W. Zhu, L. Cao, G. Srinivasan // Appl. Phys. Lett. – 2018. – Vol. 113. – P. 113502.
4. Burdin D.A. High-sensitivity DC field magnetometer using nonlinear resonance magnetoelectric effect / D.A. Burdin, D.V. Chashin, N.A. Ekonomov, Y.K. Fetisov, A.A. Stashkevich // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 2016. - Vol. 405. - P. 244-248.
5. Филиппов Д.А. Низкочастотный и резонансный магнитоэлектрические эффекты в объемных композиционных структурах феррит никеля – цирконат – титанат свинца / Д.А. Филиппов, В.М. Лалетин, G. Srinivasan // Журнал технической физики. - 2012 - Т. 82 - №1 - С. 47-51.
6. Srinivasan G. Novel magnetoelectric bilayer and multilayer structures of magnetostrictive and piezoelectric oxides / G. Srinivasan, E.T. Rasmussen, J. Gallegos, R. Srinivasan, Yu. I. Bokhan, V.M. Laletin // Physical Review B. – 2001. – Vol.64. – P. 214408 (1-6).
7. Fetisov Y.K. Inverse magnetoelectric effects in a ferromagnetic-piezoelectric layered structure / Y.K. Fetisov, V.M. Petrov, G. Srinivasan // J. Mater. Res. - 2007. - Vol. 22. - P.2074-2080.
8. Fetisov Y.K. Converse magnetoelectric effects in a galphenol and lead zirconate titanate bilayer / Y.K. Fetisov, K.E. Kamentsev, D.V. Chashin, L.Y. Fetisov, G. Srinivasan // Journal of Applied Physics. - 2009. - Т.105. - №12. - С.123918.
9. Филиппов Д.А. Магнитоэлектрический эффект в слоистых дискообразных магнитострикционно-пьезоэлектрических структурах: теория и эксперимент / Д.А. Филиппов, Г.С. Радченко, В.М. Лалетин // ФТТ. - 2016 - Т. 58 - №3. - С. 495-501.
10. Vopson M. Fundamentals of Multiferroic Materials / M. Vopson // Critical Reviews in Solid State and Materials Science. 2015. – Vol.40. - P. 223-250.
11. Filippov D.A. Influence of an interlayer bonding on the magnetoelectric effect in the layered magnetostrictive-piezoelectric structure / D.A. Filippov, T.A. Galichyan, V.M. Laletin // Appl. Phys. A. - 2014. - V. 116. - P. 2167-2171.
12. Филиппов Д.А. Магнитоэлектрический эффект в двухслойной магнитострикционно-пьезоэлектрической структуре / Д.А. Филиппов, В.М. Лалетин, Т.А. Galichyan // Физика твердого тела. - 2013. - Т. 55. - №9. - С. 1728-1733.
13. Filippov D.A. Magnetoelectric effect in bilayer magnetostrictive - piezoelectric structure. Theory and experiment / D.A. Filippov, V.M. Laletin, T.A. Galichyan // Applied Physics A. - 2014. - Vol. 115. - P. 1087- 1091.
14. Филиппов Д.А. Технология изготовления и магнитоэлектрические свойства структур цирконат – титанат свинца – никель / Д.А. Филиппов, В.М. Лалетин, Т.О. Фирсова, О.В. Антоненков // Вестник Новгородского университета им. Ярослава Мудрого. – 2015. - № 6(89). - С. 100-104.
15. Фетисов Ю.К. Спинтроника: физические основы и устройства / Ю.К. Фетисов, А.С. Сигов // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. - 2018. – Т. 10. – № 3. – С. 343-356.

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

1. Bukharaev A. A. Strejntronika – novoe napravlenie mikro- i nanoelektroniki i nauki o materialah [Straintronics: a new trend in micro- and nanoelectronics and materials science] / A. A. Bukharaev, A. K. Zvezdin, A. P. Pyatakov, Y. K. Fetisov // Physics - Uspekhi. – 2018. – Vol. 61(12). – P. 1175 -1212. [in Russian]
2. Zhang J. Highly efficient power conversion in magnetoelectric gyrators with high quality factor / J. Zhang, W. Zhu, D.A. Filippov, W. He, D. Chen, K. Li, S. Geng, Q. Zhang, L. Jiang, L. Cao, R. Timilsina, and G. Srinivasan // Rev. Sci. Instrum. – 2019. – Vol. 90. – P. 015004.

3. Zhang J. Bidirectional tunable ferrite-piezoelectric trilayer magnetoelectric inductors / J. Zhang, D. Chen, D. A. Filippov, K. Li, Q. Zhang, L. Jiang, W. Zhu, L. Cao, G. Srinivasan // *Appl. Phys. Lett.* – 2018. – Vol. 113. – P. 113502.
4. Burdin D.A. High-sensitivity DC field magnetometer using nonlinear resonance magnetoelectric effect / Burdin D.A., Chashin D.V., Ekonomov N.A., Fetisov Y.K., Stashkevich A.A. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* 2016. – Vol. 405. – P. 244-248.
5. Filippov D.A. Nizkочастотnyj i rezonansnyj magnitoelektricheskie ehffekty v ob"emnyh kompozicionnyh strukturah ferrit nikelya – cirkonat - titanat svinca [Low Frequency and Resonance Magnetoelectric Effects in Nickel Ferrite–PZT Bulk Composites] / D.A. Filippov, V.M. Laletin, and G. Srinivasan // *Technical Physics.* - 2012. - Vol. 57. - N. 1. - P. 44–47. [in Russian]
6. Srinivasan G. Novel magnetoelectric bilayer and multilayer structures of magnetostrictive and piezoelectric oxides / G. Srinivasan, E.T. Rasmussen, J. Gallegos, R. Srinivasan, Yu. I. Bokhan, V.M. Laletin // *Physical Review B.* – 2001. – Vol.64. – P. 214408 (1-6).
7. Fetisov Y.K. Inverse magnetoelectric effects in a ferromagnetic-piezoelectric layered structure / Y.K. Fetisov, V.M. Petrov, G. Srinivasan // *J. Mater. Res.* - 2007. - Vol. 22. - P.2074-2080.
8. Fetisov Y.K. Converse magnetoelectric effects in a gallenol and lead zirconate titanate bilayer / Y.K. Fetisov, K.E. Kamentsev, D.V. Chashin, L.Y. Fetisov, G. Srinivasan // *Journal of Applied Physics.* - 2009. - Vol.105. – N.12. - P.123918.
9. Filippov D.A. Magnitoelektricheskiy ehffekt v sloistyh diskoobraznyh magnitostriktionno-p'ezoelektricheskih strukturah: teoriya i ehksperiment [Magnetoelectric effect in layered disk-shaped magnetostrictive-piezoelectric structures: Theory and experiment] / D.A. Filippov, G.S. Radchenko, V.M. Laletin // *Physics of the Solid State.* - 2016. - Vol.58. - N. 3. - P. 508-514. [in Russian]
10. Vopson M. Fundamentals of Multiferroic Materials / M. Vopson // *Critical Reviews in Solid State and Materials Science.* 2015. – Vol.40. - P. 223-250.
11. Filippov D.A. Influence of an interlayer bonding on the magnetoelectric effect in the layered magnetostrictive-piezoelectric structure / D.A. Filippov, T.A. Galichyan, V.M. Laletin // *Appl. Phys. A.* - 2014. - V. 116. - P. 2167-2171.
12. Filippov D.A. Magnitoelektricheskiy ehffekt v dvuhslojnoj magnitostriktionno-p'ezoelektricheskoj strukture [Magnetoelectric Effect in a Magnetostrictive–Piezoelectric Bilayer Structure] / D. A. Filippov, V.M. Laletin, T.A. Galichyan // *Physics of the Solid State.* - 2013. - Vol. 55. - N. 9. - P. 1840–1845.
13. Filippov D.A. Magnetoelectric effect in bilayer magnetostrictive-piezoelectric structure. Theory and experiment / D.A. Filippov, V.M. Laletin, T.A. Galichyan // *Applied Physics A.* - 2014. - Vol. 115, - P. 1087- 1091.
14. Filippov D.A. Tekhnologiya isgotovleniya i magnitoelektricheskiye svoystva struktur zirkonat - titanat svinza - nikel' [The technology of fabrication and magnetoelectric properties of the structures zirconate – lead titanate – nickel] / D.A. Filippov, V.M. Laletin, T.O. Firsova, O.V. Antonenkov // *Vestnik Novgorodskogo Universiteta im. Yaroslava Mudrogo [Bulletin of Novgorod University. Yaroslav The Wise]* - 2015. - № 6 (89). - P. 100-104. [in Russian]
15. Fetisov Y.K. Spintronika: fizicheskie osnovy i ustrojstva [Spintronics: physical foundations and devices] / Y. K. Fetisov, A.S. Sigov // *RadioElectronics. NanoSystems. Information Technologies.* - 2018. – Vol. 10. – N3. – P. 343-356

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.006>**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ**

Научная статья

**Богданов А.Е.<sup>1</sup>, Торшина О.А.<sup>2,\*</sup>**<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3999-0622,<sup>1,2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

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

**Аннотация**

К нелинейным системам уравнений и необходимости их решения приводит рассмотрение многих прикладных задач, к которым относятся краевые задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений и для уравнений с частными производными (разрешаемые методом конечных разностей), задачи оптимизации, задачи минимизации функций многих переменных, применение неявных методов интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений и т.д. Численное решение систем нелинейных уравнений в общем случае задача более сложная, нежели решение систем линейных уравнений, поскольку не существует методов, гарантирующих успех решения любой такой задачи. Выявление оптимального метода и его дальнейший выбор позволяет увеличить шансы на успешное решение систем нелинейных уравнений. В связи с актуальностью вышеизложенного в данной статье представлены алгоритмы методов численного решения систем нелинейных уравнений, согласно которым произведен поиск корней типовой для прикладных задач системы. По полученным результатам проведен сравнительный анализ с целью выявления оптимального метода. Оптимальным считается тот метод, которым найдены значения всех корней системы с требуемой точностью за наименьшее число итераций.

**Ключевые слова:** краевые задачи, системы нелинейных уравнений, численные методы, дифференциальные уравнения.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPUTATIONAL METHODS OF SYSTEM OF NONLINEAR EQUATIONS**

Research article

**Bogdanov A.E.<sup>1</sup>, Torshina O.A.<sup>2,\*</sup>**<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3999-0622,<sup>1,2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Magnitogorsk

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

**Abstract**

The consideration of numerous applied problems leads to systems of nonlinear equations, they include boundary problems for ordinary differential equations and partial differential equations (solved by the finite difference method), optimization problems, problems of minimization of functions of many variables, the use of implicit methods for integrating ordinary differential equations, etc. Numerical solution of systems of nonlinear equations in the general case is a more complicated problem than the solution of systems of linear equations, since there are no methods that guarantee the success of solving any problem of this kind. Identifying the optimal method and its further selection allows you to increase the chances of successfully solving systems of nonlinear equations. In connection with the relevance of the above-mentioned, this article presents the algorithms for methods for the numerical solution of systems of nonlinear equations, according to which the root of a typical system for applied problems was searched. According to the obtained results, a comparative analysis was conducted in order to identify the optimal method. The optimal method is the one that found the values of all the roots of the system with the required accuracy in the least number of iterations.

**Keywords:** boundary value problems, systems of nonlinear equations, numerical methods, differential equations.

**Введение**

В общем случае системы  $n$  нелинейных уравнений с  $n$  неизвестными  $x_1, x_2, \dots, x_n$  принято записывать следующим образом (1).

$$\begin{cases} F_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ F_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \vdots \\ F_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Где  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – функции независимых переменных.

Решением системы (1) является вектор (векторы)  $X^*$ , при подстановке которого все уравнения системы обращаются в тождества (2).

$$X^* = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ \vdots \\ x_n^* \end{pmatrix} \quad (2)$$

Количество решений (единственное, конечное, бесконечное) зависит от рассматриваемого частного случая.

Решение системы (1) можно разбить на три этапа: графическое разделение корней, выбор оптимальных начальных приближений, преобразование системы к требуемому методами виду с последующим поиском численных решений согласно алгоритмам.

Графическое разделение корней сводится к построению графика для системы (1) в любом математическом пакете, обладающем необходимыми графическими средствами (Maple, MathCad). На основании построенного графика можно сделать вывод о количестве решений системы и выбрать оптимальные нулевые приближения для поиска каждого корня рассматриваемыми численными методами.

Оптимальными нулевыми приближениями будут такие значения, которые при визуальном анализе графика расположены к корню наиболее близко. От правильности выбора нулевого приближения зависит успех сходимости итерационных процессов рассматриваемых методов.

В рамках статьи рассмотрены следующие итерационные процессы поиска корней: «метод простых итераций», «метод Ньютона», «метод секущих».

Условия сходимости итерационных процессов можно оценивать различными способами, в числе которых «принцип сжимающих отображений», представленный следующей теоремой: последовательность  $\{x_k\}$ ,  $k = 0, 1, \dots$  элементов  $n$ -мерного евклидова пространства, порожденная итерационным процессом  $x_{k+1} = F(x_k)$ ,  $x_0 = a$ , сходится к решению  $X$  системы нелинейных алгебраических уравнений  $x = F(x)$ , если отображение  $v = F(x)$  является сжимающим; при этом выполнено  $\rho(X, x_k) \leq \frac{q^k}{1-q} \rho(x_0, x_1)$ .

Полученные результаты могут быть использованы при решении задач рассмотренных в работах [4]-[10].

#### Постановка и решение задачи

Рассмотрим систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \operatorname{tg}(xy + 0.2) = x^2 \\ 0.6x^2 + y^2 = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Для численного решения заданной системы (3) осуществим описанные во введении для общего случая этапы и выполним сравнительный анализ результатов, полученных рассматриваемыми методами.

Этап 1. Графическое разделение корней [1].

Для построения графика система (3) преобразована к виду (4):

$$\begin{cases} y = \frac{\arctg(x^2) - 0.2}{x} \\ y = \pm \sqrt{1 - 0.6x^2} \end{cases} \quad (4)$$

Для преобразованной системы (4) построен график в математическом пакете Maple (рис. 1).

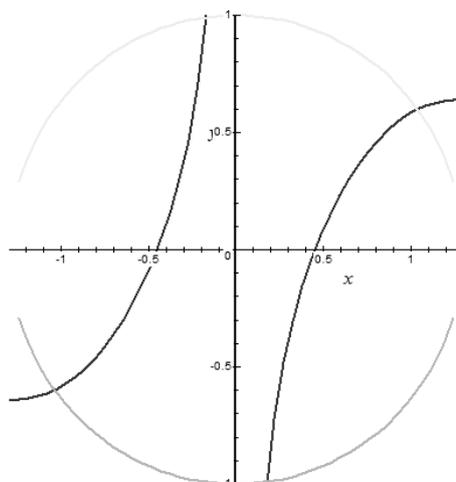


Рис. 1 – График системы (4) построенный в пакете Maple

После визуального анализа рисунка 1 можно сделать следующие выводы:

1. Система (3) имеет 4 решения.

2. Корни в рассматриваемой системе – точки пересечения эллипса с гиперболой. На графике видно, что значения корней в 1 и 3 четвертях будут противоположными. То же самое можно сказать про значения во 2 и 4 четвертях. Это значит, что поиск корня можно осуществлять либо только в 1 и 4, либо во 2 и 3 четвертях. Далее будем искать

решение в 1 и 4 четвертях.

Этап 2. Выбор оптимальных начальных приближений [1].

Графическое разделение корней (этап 1) позволяет сделать оценки первых приближений. Оптимальные начальные приближения: в 4 четверти ( $x^{(0)} = 0.2; y^{(0)} = -0.9$ ); в 1 четверти ( $x^{(0)} = 1, y^{(0)} = 0.6$ ).

Этап 3. Преобразование системы к требуемому методами виду с последующим поиском численных решений согласно алгоритмам.

Алгоритм метода простых итераций [2].

1. Задать начальное приближение  $X^{(0)} = (x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})^T$  и малое положительное число  $\varepsilon$  (точность). Положить  $k = 0$ .

2. Вычислить  $X^{(k+1)}$  по формуле:  $X_1^{(k+1)} = (x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})$ .

3. Если  $\Delta^{(k+1)} = \max |x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}| \leq \varepsilon$  процесс завершен и  $X_* \cong X^{(k+1)}$ . Если  $\Delta^{(k+1)} > \varepsilon$ , то положить  $k = k + 1$  и перейти к пункту 2.

Если данный итерационный процесс сходится, то он сходится к решению системы уравнений.

Для сходимости итерационного процесса необходимо, чтобы норма производной вектор-функции  $\Phi(x) = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)^T$  была меньше некоторого положительного числа  $q < 1$  в некоторой окрестности  $\Psi$  области решения системы, из которой не выходят приближенные значения  $x^k$  при итерации  $\|\Phi(x)\| \leq q < 1, x \in \Psi$ .

Для применения метода требуется привести систему уравнений (3) к равносильному виду:

$$\begin{cases} x_1 = \varphi_1(x_1, \dots, x_n) \\ x_2 = \varphi_2(x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ x_n = \varphi_n(x_1, \dots, x_n) \end{cases} \quad (5)$$

где  $X = (x_1, \dots, x_n)^T$  функции  $\varphi_i(x)$  определены и непрерывны в окрестности изолированного решения  $x_*$  системы (5).

Система может быть преобразована к виду (5) различными способами. Способ записи уравнений играет особую роль, так как это влияет на выполнение условия сходимости при численном решении. Чтобы ответить на вопрос, выполняется ли условие сходимости в рассматриваемом примере:

- 1) составлены все возможные выражения из системы (3), пригодные для приведения к виду системы (5).
- 2) вычислены нормы частных производных от правых частей этих выражений в нулевом приближении.
- 3) просуммированы суммы найденных норм для каждой вектор-функции и выбраны те, которые соответствуют условию  $\|\Phi(x)\| \leq q < 1, x \in \Psi$ .

Нормы производных для системы (3) представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Нормы производных для  $\varphi_1$  в нулевом приближении (0.2;-0.9)

Вид записи	Производная	(0.2;-0.9)	Норма
$x = \frac{\arctg(x^2) - 0.2}{y}$	$\frac{d}{dx} = \frac{2x}{x^4y + y}$	0.443734	0.641291
	$\frac{d}{dy} = \frac{-\arctg(x^2) - 0.2}{y^2}$	0.197557	
$x = \pm\sqrt{\text{tg}(xy + 0.2)}$	$\frac{d}{dx} = \pm \frac{y \sec^2(xy + 0.2)}{2\sqrt{\text{tg}(xy + 0.2)}}$	3.18304	3.890383
	$\frac{d}{dy} = \pm \frac{x \sec^2(xy + 0.2)}{2\sqrt{\text{tg}(xy + 0.2)}}$	0.707343	
$x = x + \text{tg}(xy + 0.2) - x^2$	$\frac{d}{dx} = y \sec^2(xy + 0.2) - 2x + 1$	0.30036	0.50044
	$\frac{d}{dy} = x \sec^2(xy + 0.2)$	0.20008	
$x = \frac{\text{tg}(xy + 0.2)}{x}$	$\frac{d}{dx} = \frac{xy \sec^2(xy + 0.2) - \text{tg}(xy + 0.2)}{x^2}$	5.00187	6.00227
	$\frac{d}{dy} = \sec^2(xy + 0.2)$	1.0004	

Условие сходимости итерационного процесса выполняется только в первом и третьем случае. В других случаях нормы производных больше 1, итерационный процесс будет расходящимся.

Таблица 2 – Нормы производных для  $\varphi_2$  в нулевом приближении (0.2;-0.9)

Вид записи	Производная	(0.2;-0.9)	Норма
$y = \frac{1 - 0.6x^2}{y}$	$\frac{d}{dx} = -\frac{1.2x}{y}$	0.266667	1.471607
	$\frac{d}{dy} = \frac{0.6x^2 - 1}{y^2}$	1.20494	
$y = \pm\sqrt{1 - 0.6x^2}$	$\frac{d}{dx} = \pm \frac{0.6x}{\sqrt{1 - 0.6x^2}}$	0.121466	0.121466
	$\frac{d}{dy} = 0$	0	
$y = y + 0.6x^2 + y^2 - 1$	$\frac{d}{dx} = 1.2x$	0.24	1.04
	$\frac{d}{dy} = 2y + 1$	0.8	

Условие сходимости итерационного процесса выполняется только во втором случае.

Таблица 3 – Нормы производных для  $\varphi_1$  в нулевом приближении (1;0.6)

Вид записи	Производная	(1;0.6)	Норма
$x = \frac{\arctg(x^2) - 0.2}{y}$	$\frac{d}{dx} = \frac{2x}{x^4y + y}$	1.66667	3.29278
	$\frac{d}{dy} = \frac{-\arctg(x^2) - 0.2}{y^2}$	1.62611	
$x = \pm\sqrt{\tg(xy + 0.2)}$	$\frac{d}{dx} = \pm \frac{y \sec^2(xy + 0.2)}{2\sqrt{\tg(xy + 0.2)}}$	0.609086	1.624226
	$\frac{d}{dy} = \pm \frac{x \sec^2(xy + 0.2)}{2\sqrt{\tg(xy + 0.2)}}$	1.01514	
$x = x + \tg(xy + 0.2) - x^2$	$\frac{d}{dx} = y \sec^2(xy + 0.2) - 2x + 1$	0.236093	2.296253
	$\frac{d}{dy} = x \sec^2(xy + 0.2)$	2.06016	
$x = \frac{\tg(xy + 0.2)}{x}$	$\frac{d}{dx} = \frac{xy \sec^2(xy + 0.2) - \tg(xy + 0.2)}{x^2}$	0.206455	2.266615
	$\frac{d}{dy} = \sec^2(xy + 0.2)$	2.06016	

Во всех случаях нормы производных больше единицы, итерационный процесс будет расходящимся.

Таблица 4 – Нормы производных для  $\varphi_2$  в нулевом приближении (1;0.6)

Вид записи	Производная	(1;0.6)	Норма
$y = \frac{1 - 0.6x^2}{y}$	$\frac{d}{dx} = -\frac{1.2x}{y}$	2	3.11111
	$\frac{d}{dy} = \frac{0.6x^2 - 1}{y^2}$	1.11111	
$y = \pm\sqrt{1 - 0.6x^2}$	$\frac{d}{dx} = \pm \frac{0.6x}{\sqrt{1 - 0.6x^2}}$	0.948683	0.948683
	$\frac{d}{dy} = 0$	0	
$y = y + 0.6x^2 + y^2 - 1$	$\frac{d}{dx} = 1.2x$	1.2	3.4
	$\frac{d}{dy} = 2y + 1$	2.2	

Условие сходимости итерационного процесса выполняется только во втором случае.

Алгоритм метода Ньютона [3].

Для численного решения методом Ньютона необходимо преобразовать систему (3) к виду (1).

Таким образом, система (3) примет вид:

$$\begin{cases} \tg(xy + 0.2) - x^2 = 0 \\ 0.6x^2 + y^2 - 1 = 0 \end{cases}$$

Алгоритм будет следующим:

1. Задать начальное приближение  $X^{(0)}$  и малое положительное число  $\varepsilon$  (точность). Положить  $k = 0$ .
2. Решить систему линейных алгебраических уравнений относительно поправки  $\Delta x^{(k)}$ :  $W(x^{(k)}) \cdot \Delta x^{(k)} = -F(x^{(k)})$ .
3. Вычислить  $X^{(k+1)}$  по формуле:  $x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)}$ .
4. Если  $\Delta^{(k+1)} = \max |x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}| \leq \varepsilon$  процесс завершен и  $X_* \cong X^{(k+1)}$ . Если  $\Delta^{(k+1)} > \varepsilon$ , то положить  $k = k + 1$  и перейти к пункту 2.

Алгоритм метода секущих [4].

1. Задать начальное приближение  $x^{(0)}$  и малое положительное число  $\varepsilon$  (точность).
2. Положить  $k = 0$  и  $A_0 = W(x^{(0)})$ , где  $W(x)$  – матрица Якоби.
3. Решить систему линейных алгебраических уравнений  $A_k s_k = -F(x^{(k)})$  относительно  $s_k$  – поправки к текущему приближению.
4. Вычислить  $x^{(k+1)}$  по формуле:  $x^{(k+1)} = x^{(k)} + s_k$ .
5. Если  $\|s_k\| \leq \varepsilon$ , процесс завершить и положить  $X_* \cong X^{(k+1)}$ . Если  $\|s_k\| > \varepsilon$ , то вычислить:  $y_k = F(x^{(k+1)}) - F(x^{(k)})$ ,  $A_{k+1} = A_k + \frac{(y_k - A_k s_k) \cdot s_k^T}{s_k^T s_k}$ , положить  $k = k + 1$  и перейти к пункту 3.

### Заключение

Результаты численного решения системы нелинейных уравнений (3) по рассмотренным выше алгоритмам приведены в таблицах 5-6.

Таблица 5 – Расчетная таблица для нулевого приближения (0.2;-0.9)

k	Метод простых итераций		Метод Ньютона		Метод секущих	
	x=0.2 y=-0.9	$\varepsilon$	x=0.2 y=-0.9	$\varepsilon$	x=0.2 y=-0.9	$\varepsilon$
1	0,1778 -0,98793	0,088	0,16981 -0,99625	0,096	0,16981 -0,99625	0,096
2	0,17046 -0,99047	0,007	0,17196 -0,9911	0,005	0,17012 -0,97831	0,018
3	0,1726 -0,99125	0,002	0,17197 -0,99109	0	0,17165 -0,9918	0,013
4	0,17172 -0,99102	0,001			0,17173 -0,98934	0,002
5					0,17193 -0,99119	0,002
6					0,17193 -0,99083	0

Из таблицы 5 видно, что все методы для начального приближения (0.2;-0.9) дали результаты, близкие к точному решению. Однако количество итераций методов различно.

Таблица 6 – Расчетная таблица для нулевого приближения (1;0.6)

k	Метод простых итераций		Метод Ньютона		Метод секущих	
	x=1 y=0.6	$\varepsilon$	x=1 y=0.6	$\varepsilon$	x=1 y=0.6	$\varepsilon$
1	– –	–	1,03481 0,59852	0,035	1,03481 0,59852	0,035
2	– –	–	1,03421 0,59854	0,001	1,03355 0,59868	0,001
3	– –	–			1,03424 0,59853	0,001

Результаты в таблице 6 для начального приближения (1;0.6) указывают на то, что метод простых итераций расходится (в соответствии с условием сходимости данного метода). Остальные методы сходятся, показав различное число итераций.

Согласно результатам сравнительного анализа, в качестве оптимального метода может быть выбран «Метод Ньютона», так как он сошелся для всех корней рассматриваемой системы нелинейных уравнений с требуемой точностью за наименьшее число итераций.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Бахвалов Н.С. Численные методы. / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков - Москва. Лаборатория Базовых Знаний. 2002. - С. 324-330.
2. Ортега Д. Итерационные методы решения систем уравнений со многими неизвестными / Д. Ортега, В. Рейнболдт - Москва. Мир. 1975. - С. 180-232.
3. Нестеров Ю.Е. Эффективные методы в нелинейном программировании / Ю.Е. Нестеров - Москва, Радио и связь. - 1989. - 304 с.
4. Дубровский В.В. Дискретность спектра задачи Неймана / В.В. Дубровский, О.А. Торшина // Вестник Магнитогорского государственного университета. - 2004. - № 5. - С. 130-131.
5. Дубровский В.В. Об одной лемме спектральной теории оператора Штурма - Лиувилля / В.В. Дубровский, О.А. Торшина // Проблемы науки и образования в современной высшей школе Тезисы докладов XXXVIII внутривузовской научной конференции преподавателей МаГУ. - 2000. - С. 42-43.
6. Кадченко С.И. Вычисление собственных чисел эллиптических дифференциальных операторов с помощью теории регуляризованных рядов / С.И. Кадченко, О.А. Торшина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. - 2016. - Т. 8. - № 2. - С. 36-43.
7. Торшина О.А. Существенный спектр задачи Неймана для оператора Лапласа / О.А. Торшина // Современные проблемы науки и образования: материалы L внутривузовской научной конференции преподавателей МаГУ. - Магнитогорск: Издательство Магнитогорский государственный университет, 2012. - С. 271.
8. Торшина О.А. Формула асимптотики собственных чисел оператора Лапласа – Бельтрами с потенциалом на проективной плоскости / О.А. Торшина // Современные методы теории функций и смежные проблемы. Материалы конференции. - 2003. - С. 258-259.
9. Торшина О.А. Формула регуляризованного следа дифференциального оператора со сложным вхождением спектрального параметра / О.А. Торшина // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2003. - Т. 8. - № 3. - С. 467-468.
10. Торшина О.А. К вопросу сложения четных сферических гармоник / О.А. Торшина // Вестник Магнитогорского государственного университета. - 2004. - № 6. - С. 73-77.

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

1. Bakhvalov N.S. Chislennyye metody [Numerical Methods] / N.S. Bakhvalov, N.P. Zhidkov, G.M. Kobelkov – Moscow. Laboratory of Basic Knowledge. 2002. – P. 324-330. [In Russian]
2. Ortega D. Iteratsionnyye metody resheniya sistem uravneniy so mnogimi neizvestnymi [Iterative Methods for Solving Systems of Equations with Many Unknowns] / D. Ortega, V. Reinboldt – Moscow. World. 1975. – P. 180-232. [In Russian]
3. Nesterov Yu.E. Effektivnyye metody v nelineynom programmirovanii [Effective Methods in Nonlinear Programming] / Yu.E. Nesterov – Moscow, Radio and communications. – 1989. – 304 p. [In Russian]
4. Dubrovsky V.V. Diskretnost' spektra zadachi Neymana [Discreteness of the Spectrum of Neumann Problem] / V.V. Dubrovsky, O.A. Torshina // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Magnitogorsk State University]. – 2004. – No. 5. – P. 130-131. [In Russian]
5. Dubrovsky V.V. Ob odnoy lemme spektral'noy teorii operatora Shturma - Liuvillya [On One Lemma of Spectral Theory of Sturm-Liouville Operator] / V.V. Dubrovsky, O.A. Torshina // Problemy nauki i obrazovaniya v sovremennoy vyshey shkole Tezisy dokladov XXXVIII vntrivuzovskoy nauchnoy konferentsii prepodavateley MaGU [Problems of Science and Education in the Modern Higher School Abstracts of the XXXVIII intra-university scientific conference of teachers of the Moscow State University]. – 2000. – P. 42-43. [In Russian]
6. Kadchenko S.I. Vychisleniye sobstvennykh chisel ellipticheskikh differentsial'nykh operatorov s pomoshch'yu teorii regulyarizovannykh ryadov [Calculation of Eigenvalues of Elliptic Differential Operators Using Theory of Regularized Series] / S.I. Kadchenko, O.A. Torshina // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Fizika [Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematics. Mechanics. Physics]. – 2016. – V. 8. – No. 2. – P. 36-43. [In Russian]
7. Torshina O.A. Sushchestvennyy spektr zadachi Neymana dlya operatora Laplasa / O.A. Torshina [Essential Spectrum of Neumann Problem for Laplace Operator] / O.A. Torshina // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya: materialy L vntrivuzovskoy nauchnoy konferentsii prepodavateley MaGU. – Magnitogorsk: Izdatel'stvo Magnitogorskiy gosudarstvennyy universitet [Modern Problems of Science and Education: Proceedings of the L intrauniversity scientific conference of teachers of the Moscow State University. – Magnitogorsk: Magnitogorsk State University Publishing House], 2012. – P. 271. [In Russian]
8. Torshina O.A. Formula asimptotiki sobstvennykh chisel operatora Laplasa – Bel'trami s potentsialom na proyektivnoy ploskosti [Formula for Asymptotics of Eigenvalues of Laplace – Beltrami operator with Potential on Projective Plane] / O.A. Torshina // Sovremennyye metody teorii funktsiy i smezhnyye problemy. Materialy konferentsii [Modern methods of the theory of functions and related problems. Conference proceedings. – 2003. – P. 258-259. [In Russian]
9. Torshina O.A. Formula regulyarizovannogo sleda differentsial'nogo operatora so slozhnym vkhozheniyem spektral'nogo parametra [Formula for Regularized Trace of Differential Operator with Complex Occurrence of Spectral Parameter] / O.A. Torshina // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki [Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences]. – 2003. – V. 8. – No. 3. – P. 467-468. [In Russian]
10. Torshina O.A. K voprosu slozheniya chetnykh sfericheskikh garmonik [On Question of Addition of Even Spherical Harmonics] / O.A. Torshina // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Magnitogorsk State University]. – 2004. – No. 6. – P. 73-77. [In Russian]

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСТНИЧНО-ЛИФТОВЫХ УЗЛОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Научная статья

Котлярова Е.В.<sup>1,\*</sup>, Высоккий О.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3979-988X,

<sup>1,2</sup> Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

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

### Аннотация

Основным принципам организации и проектирования лестнично-лифтовых узлов высотных зданий посвящено большое количество нормативных и иных источников. Кроме того, определено, что одним из факторов, ограничивающих высоту жилых и общественных зданий, является пропускная способность лифтовой системы и площадь, необходимая для организации лестнично-лифтового узла. Статья посвящена актуальным тенденциям преобразования лифтовой системы высотных зданий.

**Ключевые слова:** лестнично-лифтовой узел, лифт, высотное здание.

## MODERN TRENDS OF DESIGNING STAIRCASE AND ELEVATOR SECTIONS OF HIGH-RISE BUILDINGS

Research article

Kotlyarova E.V.<sup>1,\*</sup>, Vysotsky O.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3979-988X,

<sup>1,2</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

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

### Abstract

A large number of regulatory and other sources is devoted to the basic principles of the organization and design of staircase and elevator sections of high-rise buildings. In addition, it was found that one of the factors limiting the height of residential and public buildings is the capacity of the elevator system and the area required for the organization of the staircase-elevator section. The article is devoted to current trends in the transformation of elevator systems in high-rise buildings.

**Keywords:** staircase-elevator section, elevator, high-rise building.

Лестнично-лифтовые узлы имеют важное значение при эксплуатации жилых и общественных зданий, особенно, если высота здания превышает 5 этажей. В современном мире сложно представить нормальное функционирование вертикальных и горизонтальных коммуникаций, а также аварийную эвакуацию жителей без грамотно спроектированной лестнично-лифтовой группы. Чем выше этажность объекта капитального строительства, тем большее значение приобретает соблюдение противопожарных требований в объекте и меняется устройство лестничных клеток, а также типы лифтовых систем.

Интересным решением для зданий повышенной этажности является использование бестросовых лифтов на магнитной подушке, например, система SkyPod, предложенная лондонским архитектурным бюро PLP Architecture. Подъемное оборудование по такой системе представляет собой синтез нескольких технологических решений. В основе инженерного решения находится устройство каркаса из труб по внешнему периметру небоскреба, что позволяет отказаться от вертикальной шахты внутри здания. Двигательная платформа при этом является системой мощных магнитов, которые одновременно тянут и отталкивают.

Если проанализировать видео с магнитной системой SkyPod и магнитной системой компании Thyssenkrupp, то виден один недостаток: движение лифтов замкнуто в кольцо, и поэтому лифт не может на долгое время остановиться на этаже, чтобы не остановились лифты идущие за ним, поэтому скорость лифтов не может быть высокой из-за времени торможения лифта перед остановкой, самой остановки и последующего разгона. В этой статье предлагается способ решить проблему долгого времени остановок, так чтобы не было препятствия для кольцевого движения.

Конструктивные параметры лифтовой системы могут быть следующими: в одной шахте-трубе предусмотрено место для двух и более лифтов и устройства приведения лифтов в движение и удержания их в равновесии. Одна половина шахты предназначена для постоянного движения лифтов вверх с максимальной скоростью, а другая существует для того, чтобы на ней могли они останавливаться. Лифт из первой половины шахты тормозит, останавливается на второй половине, выпускает людей на какой-то высотный этаж, затем ускоряется вверх, возвращаясь на первую половину. Пройдя участок шахты с остановками, лифт попадает в полукольцевой участок, в котором меняет своё вертикальное движение на противоположное, затем он попадает в параллельную аналогичную шахту, но которая предназначена для движения вниз. В нижней части обеих шахт расположена многократная развилка. Под основной посадочной и высадочной зоной, расположено пространство для замыкания движения лифтов в «кольцо». После высадки людей, лифт спускается ниже и далее горизонтально перемещается под основную посадочную зону, после чего перемещается вверх к посадочной зоне, принимает людей, и далее движется вверх к высотным этажам. Под замыкающим участком расположена зона хранения лифтов на случай перерыва в работе или ремонта. Лифт также может быть многоэтажным в соответствии с этажностью основных посадочных и высадочных зон. Схема подобной организации лифтового движения представлена на рис. 1.

Лифт приводится в движение или удерживается в равновесии с помощью кулоновских сил, то есть сил, с помощью которых электрически заряженные тела притягиваются или отталкиваются друг от друга. С двух противоположных сторон примыкают участки, в которых происходит электрическое взаимодействие между электрическими устройствами на противоположных сторонах шахты и электрическими устройствами лифтов. Противоположные стороны шахты, параллельные кольцевому движению лифтов, представляют собой электрические конденсаторы, в котором действует переменное электрическое поле, которое питает энергию приводы лифтов и остальное их оборудование. Участок подвеса, расположенный между обкладкой конденсатора на стене шахты и самим корпусом лифта (та его часть размером  $2 \times 0.5$ , что принадлежит шахте), имеет «паз» в плане, предназначенный для движения в нём электрического привода собственно принадлежащего лифту, а не шахте. «Паз» в плане имеет форму, схожую с буквой «т», но имеющую несколько «горизонтальных палочек», по аналогии с некоторыми стойками ЛЭП. То есть как бы несколько «палочек» нанизанных на одну центральную ось. Причём толщина осевой «палочки» гораздо больше толщины перпендикулярных ей. Так как это «паз» то представляет собой полость, образованную этой формой в плане помноженной на высотную составляющую. Совокупность этих осей в проекции на вертикальную плоскость кольцевого движения как раз и совпадают с линиями движения лифтов.

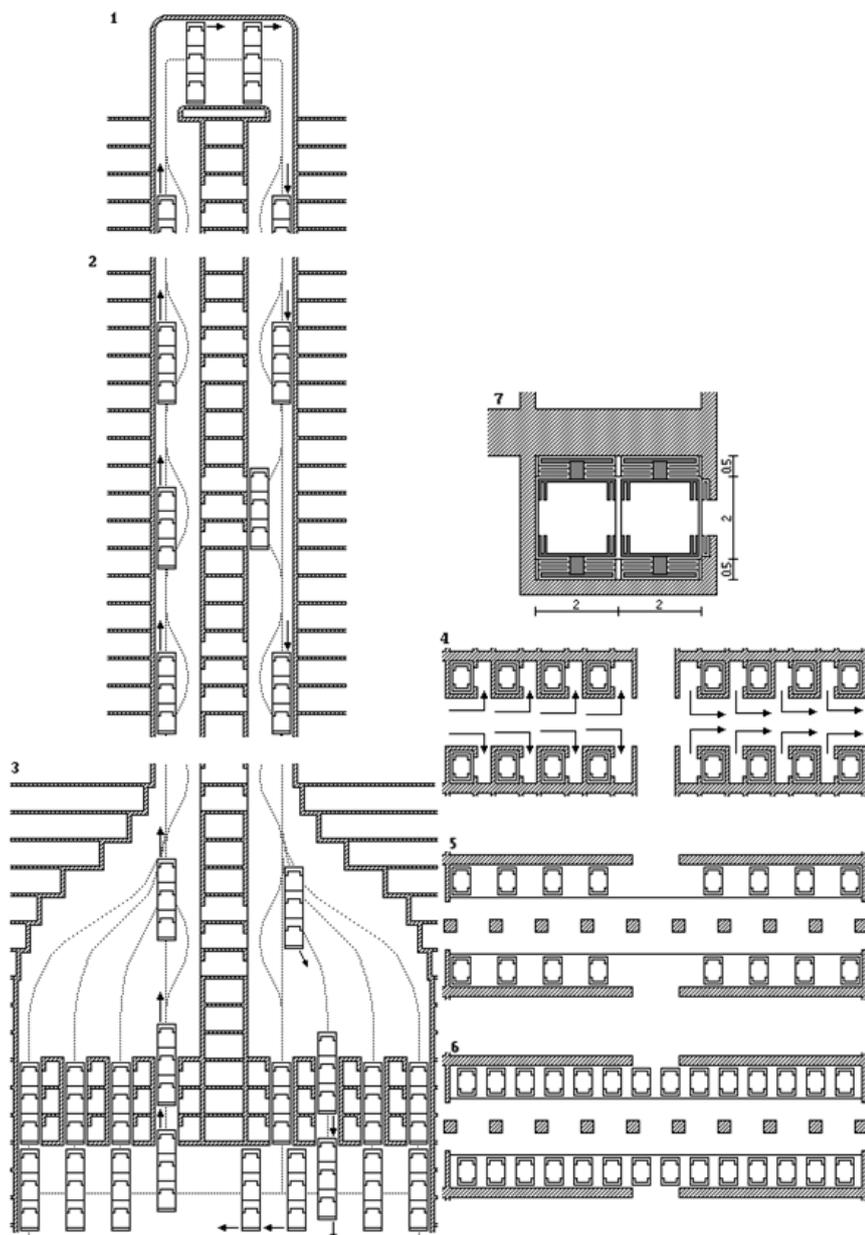


Рис. 1 – Схема организации лифтового движения

*Примечание: 1 – верхнее полукольцо для перехода лифтов из одной шахты в шахту с противоположно направленным движением; 2 – основная часть обеих шахт с высотными остановками; 3 – развилки в нижних частях обеих шахт, главные посадочная и высадочная зоны и замыкающий участок под ними; 4 – вид на главные посадочную и высадочную зоны в плане; 5 – вид на замыкающий участок в плане; 6 – вид на лифтовую парковку в плане; 7 – горизонтальное сечение лифтовой шахты с двумя помещающимися в ней лифтами; лифты останавливаются на каждой трех из шести этажей, для других трех этажей из шести нужна еще одна пара шахт. Лифтовая система опирается на стены, параллельные плоскости движения.*

Пространство, перпендикулярное линии движения, представляет собой как бы «решётку» из электрически заряженных элементов вертикальные и горизонтальные элементы которой параллельны вертикальной плоскости кольцевого движения. Среди вертикальных и горизонтальных элементов идёт чередование противоположно заряженных. Так, что отрицательно заряженные элементы чередуются с положительно заряженными элементами. Все положительно заряженные элементы, как вертикальные, так и горизонтальные, между собой имеют одинаковый потенциал, то же верно и для отрицательно заряженных элементов, так что всю решетку можно подключить к одному источнику напряжения, после чего отключить его, оставив решётчатую систему заряженной. Разумеется, что электрические элементы имеют покрытие из изолятора, чтоб заряд с них не уходил. Сами отдельные элементы имеют форму полоски, поперечное сечение которых представляет собой овал, длинная сторона которого направлена перпендикулярно плоскости кольцевого движения. Полоски соединяются с перпендикулярными одинаково заряженными и образуют положительную решётку и отрицательную решётку. На месте пересечения отрицательно заряженной решётки и положительно заряженной решётки находится «выемка» или «пазы», так что они не контактируют между собой.

Теперь об электрическом устройстве самого лифта. В «осевой паз» входит часть привода самого лифта, который и является точкой его подвеса. Этот элемент привода имеет цилиндрическую форму, внутри которой располагается мотор, который питается от переменного электрического поля от электрически заряженных пластин на стене шахты. Переменное электрическое поле создаёт ток в электрических контурах самого лифта. Часть энергии этого тока идёт на раскрутку ротора мотора, который уже сам становится источником вторичного тока, но уже с собственной частотой, зависящей от угловой скорости движения ротора. Так что при переменном электрическом поле в 50 или 60 герц в каждом отдельном лифте часть тока будет иметь независимую частоту выше или ниже этих значений в зависимости от условий движения в конкретный момент. Что касается ответвлений от этого паза, то в них располагается собственная решётка лифта из электрически заряженных элементов. Она представляет собой в общей форме несколько дисков из этих решёток, которые нанизаны на осевой цилиндрический элемент. Каждый этот диск имеет четыре сектора, расположенных справа, слева, снизу и сверху от осевого цилиндрического элемента, на которые напряжение должно подаваться независимо. Решётка лифта отличается от решётки шахты ещё и тем, что напряжение между вертикальными элементами и напряжение между горизонтальными элементами независимы друг от друга и меняются в зависимости от условий движения в конкретный момент, тогда как на решётке шахты напряжение только одно и оно постоянное. То есть, у решётки лифта нет сопряжения между пересекающимися элементами, и все перпендикулярные элементы между собой имеют разрыв. К крайнему решётчатому диску, в наружную сторону от него, примыкает общий формой дискообразный элемент, который также имеет четыре сектора вокруг общего цилиндрического элемента. В сумме восемь таких секторов на два подвеса лифта, все восемь секторов этих двух элементов могут иметь различный электрический заряд одновременно.

Повсеместное использование подобных систем позволит создавать новые визуально интегрированные с городским ландшафтом формы высотных объектов. Современные типы лифтовых систем замкнутого типа способны даже видоизменяться под любой внешний каркас здания, что значительно расширит возможности архитекторов и проектировщиков. В свою очередь, по результатам проведенных научных исследований, мы планируем оформить и подать заявку на изобретение усовершенствованной системы бестросовых лифтов на магнитной подушке для последующего совершенствования технологии и возможного практического внедрения.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Alekhin V. Assurance of Reliability of High-Rise Building Structures at Design Stage as Exemplified by Residential Building Complex in Yekaterinburg / V. Alekhin, L. Avdonina, A. Antipin and others // Iop Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – P. 052005.
2. Гордина Е. Ж. Атриумные пространства в высотных зданиях. Этапы развития / Е. Ж. Гордина // Архитектон: Известия вузов. - 2009. - № 28. - С. 4.
3. Ерошев С. Р. Повышение эффективности управления пассажирскими лифтами / С. Р. Ерошев // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2016. – С. 3446-3451.
4. Коваль А. С. К вопросу разработки электропривода пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта / А. С. Коваль, Е. В. Ефименко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. - № 1(46). – С. 96-102.
5. Котлярова Е. В. Основные тенденции в проектировании офисных и административных пространств / Е. В. Котлярова, А. Д. Алмоян // Наука, образование и инновации. - 2016. - С. 178-180.
6. Котлярова Е. В. Анализ факторов определяющих необходимость проектирования зданий и сооружений с использованием энергоэффективных технологий / Е. В. Котлярова, С. Г. Магомедова // Современные технологии в мировом научном пространстве. - 2017. - С. 81-83.
7. Михайлов А. В. Системы вертикального транспорта высотных зданий [Электронный ресурс] / А. В. Михайлов, Н. В. Шилкин // АВОК. – 2010. - № 7. -URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4718](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4718)
8. Пименова Е. В. Уникальные технологии строительства высотных зданий и сооружений / Е. В. Пименова, Р. И. Сенев // Современные инновации: актуальные направления научных исследований сборник научных трудов по материалам VII Международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 55-56.
9. Чжо Чжо Лин. Разработка средств повышения эффективности автоматизированного управления пассажирскими лифтами на основе имитационного моделирования: автореф. дисс. ... канд. тех. наук: 05.13.06 / Чжо Чжо Лин. – М., 2002. – 22 с.

10. Шумейко В. И. Современные направления в проектировании и строительстве высотных зданий / В. И. Шумейко, Е. В. Пименова // Строительство и архитектура – 2017. - С. 113-119.

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

1. Alekhin V. Assurance of Reliability of High-Rise Building Structures at Design Stage as Exemplified by Residential Building Complex in Yekaterinburg / V. Alekhin, L. Avdonina, A. Antipin and others// Iop Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – P. 052005.

2. Gordina E. Zh. Atriumny`e prostranstva v vy`sotny`x zdaniyax. E`tapy` razvitiya [Atrium spaces in high-rise buildings. Stages of development] / E. Zh. Gordina // Arxitekton: Izvestiya vuzov. - 2009. - № 28. - P. 4. [in Russian]

3. Eroshev S. R. Povy`shenie e`ffektivnosti upravleniya passazhirskimi liftami [Improving passenger elevator management] / S. R. Eroshev // Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferenciya molody`x ucheny`x BGTU im. V. G. Shuxova. – 2016. – P. 3446-3451. [in Russian]

4. Koval` A. S. K voprosu razrabotki e`lektroprivoda passazhirskix liftov s reguliruemoy nominal`noj skorost`yu dvizheniya kabiny` lifta [On the development of electric passenger elevators with adjustable rated speed of the elevator car] / A. S. Koval`, E. V. Efimenko // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta. – 2015. - № 1(46). – P. 96-102. [in Russian]

5. Kotlyarova E. V. Osnovny`e tendencii v proektirovanii ofisny`x i administrativny`x prostranstv [The main trends in the design of office and administrative spaces] / E. V. Kotlyarova, A. D. Almoyan // Nauka, obrazovanie i innovacii. - 2016. - P. 178-180. [in Russian]

6. Kotlyarova E. V. Analiz faktorov opredelyayushhix neobходимost` proektirovaniya zdaniy i sooruzhenij s ispol`zovaniem e`nergoe`ffektivny`x texnologij [Analysis of factors determining the need for designing buildings and structures using energy efficient technologies] / E. V. Kotlyarova, S. G. Magomedova // Sovremenny`e texnologii v mirovom nauchnom prostranstve. - 2017. - P. 81-83. [in Russian]

7. Mixajlov A. V. Sistemy` vertikal`nogo transporta vy`sotny`x zdaniy [Electronic resource] [Vertical transport systems for high-rise buildings] / A. V. Mixajlov, N. V. Shilkin // AVOK. – 2010. - № 7. -URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4718](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4718). [in Russian]

8. Pimenova E. V. Unikal`ny`e texnologii stroitel`stva vy`sotny`x zdaniy i sooruzhenij [Unique technologies for the construction of high-rise buildings and structures] / E. V. Pimenova, R. I. Seniv // Sovremenny`e innovacii: aktual`ny`e napravleniya nauchny`x issledovaniy sbornik nauchny`x trudov po materialam VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. - 2017. - P. 55-56. [in Russian]

9. Chzho Chzho Lin. Razrabotka sredstv povy`sheniya e`ffektivnosti avtomatizirovannogo upravleniya passazhirskimi liftami na osnove imitacionnogo modelirovaniya [Development of means to increase the efficiency of automated control of passenger elevators based on simulation modeling]: avtoref. diss. ... kand. tex. nauk: 05.13.06 / Chzho Chzho Lin. – M., 2002. – 22 p. [in Russian]

10. Shumejko V. I. Sovremenny`e napravleniya v proektirovanii i stroitel`stve vy`sotny`x zdaniy [Modern trends in the design and construction of high-rise buildings] / V. I. Shumejko, E. V. Pimenova // Stroitel`stvo i arxitektura – 2017. - P. 113-119. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.008>

## РАСЧЕТ В ТЕКУЩЕМ РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТИЛКАУЧУКА

Научная статья

Лежнева Н.В.<sup>1,\*</sup>, Галеев Э.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8018-7463,

<sup>1,2</sup> Нижнекамский химико-технологический институт ФГБОУ ВО «КНИТУ», Нижнекамск, Россия

\* Корреспондирующий автор (nlegneva[at]list.ru)

### Аннотация

Представлена математическая модель для расчета ключевых технологических параметров процесса полимеризации в производстве бутилкаучука ПАО «Нижнекамскнефтехим», теоретической основой которой являются уравнения материального баланса систем «полимеризатор–дегазатор первой ступени». На основе моделирования разработан алгоритм расчета параметров процесса синтеза бутилкаучука (масса полимера, конверсия процесса, проиндекс, концентрация стеарата кальция в полимере) в режиме реального времени в распределенной системе автоматизированного управления процессом полимеризации бутилкаучука.

**Ключевые слова:** бутилкаучук, моделирование, алгоритм, полимеризация, конверсия.

## CALCULATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF BUTYL RUBBER POLYMERIZATION PROCESS IN CURRENT MODE

Research article

Lezhneva N.V.<sup>1,\*</sup>, Galeev E.R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8018-7463,

<sup>1,2</sup> Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology, FSBEI of HE "KNITU", Nizhnekamsk, Russia

\*Corresponding author (nlegneva[at]list.ru)

### Abstract

This paper describes the mathematical model for calculating the key technological parameters of the polymerization process in the production of butyl rubber in PJSC «Nizhnekamskneftekhim» the theoretical basis of this process is the material balance equations of the “Polymerizer – the first stage degasifier” systems. Based on the simulation, we developed the algorithm for calculating the parameters of butyl rubber synthesis (polymer mass, process conversion, index, calcium stearate concentration in a polymer) in a real-time mode in a distributed system of butyl rubber polymerization process automated control.

**Keywords:** butyl rubber, modeling, algorithm, polymerization, conversion.

Бутилкаучуки (БК) применяют в производстве автомобильных камер, теплостойких деталей вулканизационного оборудования (например, варочных камер и диафрагм форматоров-вулканизаторов), многих резинотехнических изделий (паропроводных рукавов, теплостойких конвейерных лент, прорезиненных тканей и др.). На основе БК изготавливают изоляцию кабелей высокого и низкого напряжения, гуммировочные покрытия химической аппаратуры, кровельные покрытия, детали доильных аппаратов, некоторые изделия медицинского назначения и др. [1].

Общее мировое потребление бутилкаучуков и их химической модификации–галобутилкаучуков ежегодно растет и уже превышает один миллион тонн в год [2]. На мировом рынке БК доминируют американская Exxon Mobil Chemical и германская Lanxess [3], [4], при этом доля Российской Федерации от мирового производства составляет около 23%. В условиях жесткой конкуренции со стороны зарубежных производителей проблема повышения качества отечественных бутилкаучуков и увеличение объемов их производства является актуальной задачей для развития отрасли.

Лидером производства бутилкаучуков в Российской Федерации является ПАО «Нижнекамскнефтехим». На заводе БК ПАО «Нижнекамскнефтехим» [5] процесс синтеза бутилкаучука осуществляется путем сополимеризации изобутилена с изопреном в реакторах с мешалками в присутствии катализатора – хлористого алюминия в среде инертного растворителя– хлористого метила. В производстве используются восемь систем «полимеризатор (поз. 52) – дегазатор первой ступени (поз. 53)», из которых две находятся в резерве, а шесть - в работе, при этом длительность циклов пробегов полимеризаторов невелика [6], [7]. Существует производственная необходимость повышения эффективности процесса и увеличения длительности циклов пробегов реакторов полимеризации, а также стабилизации свойств бутилкаучука и базового полимера для галобутилкаучука.

Для управления процессом синтеза БК в соответствии с требованиями технологического регламента необходимо получение оперативных и достоверных данных о качестве продукции на стадии полимеризации. С этой целью разработаны математическая модель процесса, теоретической основой которой являются уравнения материального баланса, а на ее основе алгоритм определения в текущем режиме следующих ключевых параметров процесса полимеризации: масса полимера, конверсия процесса, проиндекс, концентрация стеарата кальция в полимере. Разработанный алгоритм (рис.1) реализуется в виде программного модуля в автоматизированной распределенной системе управления процессом [8], [9], [10] для расчета указанных параметров в режиме реального времени.

Исходными данными для построения математической модели являются значения параметров, полученных путем опроса датчиков систем «полимеризатор–дегазатор первой ступени». При построении математической модели используются следующие допущения:

- 1) конверсия изопрена составляет 50%;
- 2) 3% хлорметила уходит с крошкой каучука на вторую ступень дегазации и далее с пульпой.

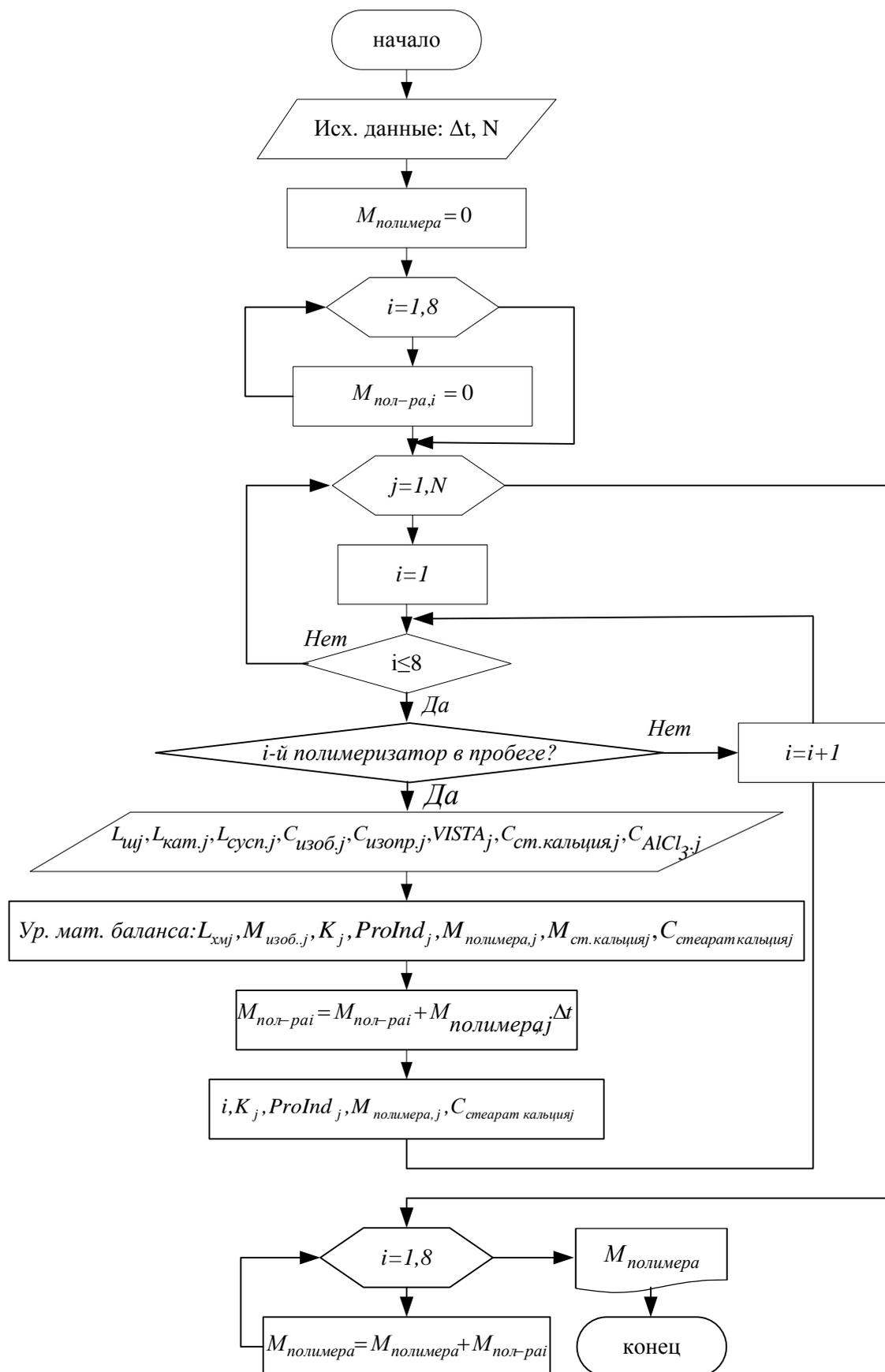


Рис.1 – Алгоритм расчета в текущем режиме технологических параметров процесса полимеризации БК

Одним из ключевых параметров процесса синтеза БК является конверсия мономеров, о величине которой судят по следующим показателям:

- содержание изобутилена в шихте, подаваемой на полимеризацию;
- содержание изобутилена в газах отсоса дегазаторов первой ступени.

В процессе получения бутилкаучука конверсию обычно рассчитывают по изобутилену, поэтому текущее значение конверсии, полученное по результатам  $j$ -го опроса датчиков расхода и состава:

$$K_j = \frac{M_{\text{полимера},j}}{0.01L_{\text{ш},j}C_{\text{изоб},j}} \cdot 100\%,$$

где  $L_{\text{ш}}$  – расход шихты в полимеризатор (поз. FC8072\_1...7, FIC8072\_8), кг/час;  $C_{\text{изоб}}$  – концентрация изобутилена в шихте (поз. QA0906\_3\_1), % мас.;  $M_{\text{полимера}}$  – количество полимера, получаемого с одной системы полимеризации в единицу времени.

Из полимеризатора на первую ступень дегазации поступает хлористый метил в количестве:

$$L_{\text{хм},j} = L_{\text{ш},j} - 0.01L_{\text{ш},j}(C_{\text{изоб},j} + C_{\text{изопр},j}) + L_{\text{кат},j} = L_{\text{ш},j}(1 - 0.01C_{\text{изоб},j} - 0.01C_{\text{изопр},j}) + L_{\text{кат},j},$$

где  $C_{\text{изопр}}$  – концентрация изопрена в шихте (поз. QA0906\_3\_2), % мас.;  $L_{\text{кат}}$  – суммарный расход катализаторного раствора (большой + малый контуры) (поз. FC8073В, М1...6, FC8073В, М\_7, FIC8073В, М\_8), кг/час.

С учетом допущения 2, из дегазатора первой ступени с хлорметилем в период крошкообразования уходит изобутилен в количестве:

$$M_{\text{изоб},j} = \{L_{\text{хм},j} \cdot 0.97 + L_{\text{ш},j} \cdot 0.01C_{\text{изопр},j}/2\} \frac{VISTA_j}{100 - VISTA_j},$$

где VISTA – концентрация изобутилена в газах отсоса дегазатора первой ступени (поз. VISTA\_1...6, QA0906\_7, QIA0906\_8), % мас.

При отсутствии допущения 2, т.е. без учета 3% хлорметила, уходящего с крошкой каучука на вторую ступень дегазации, количество уходящего изобутилена (непрореагировавшего):

$$M_{\text{изоб},j} = \{L_{\text{хм},j} + L_{\text{ш},j} \cdot 0.01C_{\text{изопр},j}/2\} \frac{VISTA_j}{100 - VISTA_j}.$$

Следовательно, количество получаемого в единицу времени полимера с одной системы полимеризации по результатам  $j$ -го опроса датчиков:

$$M_{\text{полимера},j} = 0.01L_{\text{ш},j}(C_{\text{изоб},j} + C_{\text{изопр},j}/2) - M_{\text{изоб},j}.$$

Количество полимера, получаемого с одной ( $i$ -й) системы полимеризации за сутки цикла полимеризации:

$$M_{\text{пол-ра},i} = \sum_{j=1}^N M_{\text{полимера},j} \Delta t,$$

где  $\Delta t$  – период опроса датчиков расхода и состава (на заводе БК ПАО «Нижнекамскнефтехим» 30 сек.),  $N$  – количество опросов датчиков за сутки цикла полимеризации.

Таким образом, количество полимера, получаемого со всех систем полимеризации за сутки:

$$M_{\text{полимера}} = \sum_i M_{\text{пол-ра},i},$$

где  $i$  – номера реакторов полимеризации, находящихся в цикле пробега в расчетные сутки.

Эффективность катализатора характеризуется проиндексом:

$$ProInd_j = \frac{M_{\text{полимера},j}}{0.01L_{\text{кат},j}C_{AlCl_3,j}},$$

где  $C_{AlCl_3}$  – концентрация хлористого алюминия.

На первой ступени дегазации полимеризат подвергают обработке острым водяным паром в присутствии антиагломератора на основе стеарата кальция. Количество стеарата кальция, подаваемого на первую ступень дегазации, составляет:

$$M_{\text{ст.кальция},j} = 0.01L_{\text{сусп},j}C_{\text{ст.кальция},j},$$

где  $L_{\text{сусп}}$  – расход суспензии в дегазатор первой ступени (поз. FC8127\_1,...8),  $C_{\text{ст.кальция}}$  – концентрация стеарата кальция в суспензии.

Следовательно, концентрация стеарата кальция в полимере составляет:

- при учете допущения 2

$$C_{\text{стеарат кальция},j} = \frac{L_{\text{сусп},j}C_{\text{ст.кальция},j}}{0.03L_{\text{хм},j} + M_{\text{полимера},j} + L_{\text{сусп},j}C_{\text{ст.кальция},j}},$$

- без учета 3% хлорметила, уходящего с крошкой каучука на вторую ступень дегазации поз.55,

$$C_{\text{стеарат кальция},j} = \frac{L_{\text{сусп},j}C_{\text{ст.кальция},j}}{M_{\text{полимера},j} + L_{\text{сусп},j}C_{\text{ст.кальция},j}}.$$

### Заключение

Представлена математическая модель для расчета параметров в производстве бутилкаучука ПАО «Нижнекамскнефтехим», теоретической основой которой являются уравнения материального баланса.

На основе моделирования процесса полимеризации бутилкаучука разработан алгоритм расчета в режиме реального времени ключевых технологических параметров процесса по результатам опроса датчиков расхода и состава систем «полимеризатор–дегазатор первой ступени» для реализации в распределенной системе управления.

**Финансирование**

Работа выполнена в рамках договора № 4600026159 от 01.04.2015 г. на выполнение НИОКР «Разработка рекомендаций по оптимальным режимам I – VIII систем полимеризации» между НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ» и ПАО «Нижнекамскнефтехим».

**Funding**

The work was carried out within the contract No. 4600026159 on April 1, 2015 for the implementation of R & D “Development of recommendations on optimal modes of I–VIII polymerization systems” between the National Institute of Chemical Technology FSUE “KNITU” and PJSC “Nizhnekamskneftekhim”.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Бутилкаучук [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.xumuk.ru/encyclopedia/665.html> (дата обращения: 5.09.2018).
2. Аксенов В.И. Производство синтетических каучуков в Российской Федерации и за последние десять лет. Краткие итоги / В.И.Аксенов, В.Л.Золотарев, А.В.Малыгин, А.И.Рахматуллин // Промышленное производство и использование эластомеров. –2015. –№1. –С. 10– 17.
3. Российская промышленность синтетического каучука: логистика, экспорт и инвестиции [Электронный ресурс]. — URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/147>(дата обращения: 15.10.2018).
4. Международный деловой журнал «Евразийский химический рынок» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.chemmarket.info> (дата обращения: 25.11.2018).
5. Годовой отчет ПАО «Нижнекамскнефтехим» [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.nknh.ru/financial\\_information/yearly\\_report/](http://www.nknh.ru/financial_information/yearly_report/) (дата обращения: 30.11.2018).
6. Лежнева Н.В. Математическое моделирование и оптимизация узла полимеризации бутилкаучука / Н.В.Лежнева, В.И.Елизаров, В.В.Елизаров, Э.Р.Галеев // Вестник Казанского технологического ун-та. –2017. –Т. 20. – Вып. 3. –С. 132– 136.
7. Галеев Э.Р.Математическое моделирование процесса полимеризации бутилкаучука / Э.Р.Галеев, Н.В. Лежнева, В.В.Елизаров, В.И.Елизаров // Вестник Казанского технологического ун-та. –2016. –Т. 19. –Вып. 23. – С. 92– 955.
8. Кабанов В.В. Математическое моделирование параметров пуска установки предварительной дебутанизации сырья/ В.В. Кабанов, А.В. Мушчинин, В.В. Елизаров, В.И. Елизаров // Вестник Казанского технологического ун-та. – 2014. –Т. 17. –Вып. 9. –С. 292– 294.
9. Галеев Э.Р. Разработка системы управления процессом получения метил-трет-амилового эфира / Э.Р. Галеев, В.В.Елизаров, В.И.Елизаров // Вестник Казанского технологического ун-та. –2011. –Вып. 15. –С. 251– 255.
10. Мушчинин А.В. Программное управление расходом питания в колонну при пуске установки дебутанизации углеводородов / А.В. Мушчинин, В.В. Елизаров, В.И. Елизаров // Вестник Казанского технологического ун-та. –2015. – Т. 18. –Вып. 21. –С. 131– 133.

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

1. Butylkauchuk [Butyl rubber] [Electronic resource]. – URL: <http://www.xumuk.ru/encyclopedia/665.html> (accessed: 5.09.2018).[in Russian]
2. Aksenov V.I. Proizvodstvo sinteticheskikh kauchukov v Rossijskoj Federacii i za poslednie desyat' let. Kratkie itogi [Production of synthetic rubbers in the Russian Federation and for the last ten years. Brief summary] / V.I. Aksenov, V.L. Zolotarev, A.V. Malygin, A.I. Rakhmatullin // Industrial production and use of elastomers. –2015. –№1. – P. 10– 17.
3. Rossijskaya promyshlennost' sinteticheskogo kauchuka: logistika, ehksport i investicii [Russian industry of synthetic rubber: logistics, export and investments] [Electronic resource]. – URL:<https://plastinfo.ru/information/articles/147>(accessed: 15.10.2018).[in Russian]
4. Mezhdunarodnyj delovoj zhurnal «Evrazijskij himicheskij rynek» [International business magazine "Eurasian chemical market"] [Electronic resource].– URL: <http://www.chemmarket.info> (accessed: 25.11.2018).[in Russian]
5. Godovoj otchet PAO «Nizhnekamskneftekhim» [Annual report of PJSC «Nizhnekamskneftekhim»] [Electronic resource].– URL: [http://www.nknh.ru/financial\\_information/yearly\\_report/](http://www.nknh.ru/financial_information/yearly_report/)(accessed: 30.11.2018).[in Russian]
6. Lezhneva N.V. Matematicheskoe modelirovanie i optimizaciya uzla polimerizacii butilkauchuka [Mathematical modeling and optimization of knot of polymerization of butyl rubber] / N.V. Lezhneva, V.I. Elizarov, V.V. Elizarov, E.R. Galeev // Bulletin of Kazan Technological University. –2017. – V. 20. –R. 3. – P. 132-136.
7. Galeev E.R. Matematicheskoe modelirovanie processa polimerizacii butilkauchuka [Mathematical modeling of the polymerization process of butyl rubber] / E.R. Galeev, N.V. Lezhneva, V.I. Elizarov, V.V. Elizarov // Bulletin of Kazan Technological University. –2016. – V. 19. – R. 23. – P. 92– 95.
8. Kabanov V.V. Matematicheskoe modelirovanie parametrov puska ustanovki predvaritel'noj debutanizacii syr'ya [Mathematical modeling of parameters of start-up of installation of a preliminary debutanization of raw materials] /V.V. Kabanov, A.V. Mushchinin, V.V.Elizarov, V.I. Elizarov // Bulletin of Kazan Technological University. –2014. –V. 17. –R. 9. – P. 292–294.
9. Galeev E.R. Razrabotka sistemy upravleniya processom polucheniya metil-tret-amilovogo ehfira [Development of a control system for the production of methyl tert-amyl ether] / E.R. Galeev, V.I. Elizarov, V.V. Elizarov // Bulletin of Kazan Technological University. –2011. –R. 15. –P. 251– 255.
10. Mushchinin A.V. Programmnoe upravlenie rashodom pitaniya v kolonnu pri puske ustanovki debutanizacii uglevodorodov [Software control of the power consumption in the column when starting the installation of the debutanization of hydrocarbons] / А.В. Мушчинин, В.В. Елизаров, В.И. Елизаров // А.В. Mushchinin, V.V. Elizarov, V.I. Elizarov // Bulletin of Kazan Technological University. –2015. –V. 18. –R. 21. – P. 131– 133.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.009>**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЛОТ PDC И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ БУРЕНИЯ В КАРБОНАТНЫХ И ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОДАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Научная статья

**Логунов В.П.<sup>1</sup>, Мельников В.А.<sup>2,\*</sup>, Шокалюк В.В.<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> РГУ нефти и газа им. Губкина, Москва, Россия

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

**Аннотация**

В статье приведены расчеты гидравлической мощности долота, перепад давления, скорости истечения раствора из насадок долота, реактивной силы, действующей на забой от гидродинамических струй из насадок долота PDC в карбонатных и терригенных разрезах Сибирской платформы. При расчетах использован справочник Миттельмана Б.И. и показано, как считать, используя промысловые и справочные данные. Приведены графические зависимости показателей бурения от параметров бурения. Приводится методика проведения базисных долблений для получения оптимальных режимов бурения и соответствующих им показателей бурения.

Критерием отработки долот является максимальный рейсовая скорость бурения в каждом долблении. Долота типа PDC должны обрабатываться по достижению максимального значения рейсовой скорости на долбление, что обеспечит минимальное время бурения скважины.

**Ключевые слова:** долота PDC, гидравлические параметры, управляющие и управляемые параметры бурения, показатели бурения, рейсовая скорость, проходка на долото, время работы долота.

**DETERMINATION OF THE HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF PDC BITS AND THEIR EFFECT ON DRILLING PERFORMANCE IN CARBONATE AND TERRIGENOUS ROCKS OF EASTERN SIBERIA**

Research article

**Logunov V.P.<sup>1</sup>, Melnikov V.A.<sup>2,\*</sup>, Shokalyuk V.V.<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow

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

**Abstract**

The article presents calculations of the hydraulic power of the bit, draw-down, solution flow rate from the bit nozzles, the reactive force acting on the bottom of hydrodynamic jets from PDC bit nozzles in carbonate and terrigenous sections of the Siberian platform. B.I. Mittleman's reference was used for calculations, and the paper shows how to perform the calculation using field and reference data. Graphic dependences of drilling indices on drilling parameters are given. The technique of carrying out basic slottings to obtain the best drilling conditions and the corresponding drilling indicators are also given. The maximum bit run speed in each slotting is the criterion for drilling bits. PDC bits should be processed to achieve the maximum value of the bit run speed for spudding drilling, which will ensure the minimum time for drilling a well.

**Keywords:** PDC bits, hydraulic parameters, controlling and controlled drilling parameters, drilling performance, bit run speed, advance per bit, bit operation time.

Долота типа PDC появились в бурении сравнительно недавно и их гидравлические характеристики и влияние их на показатели бурения в отличие от шарошечных долот исследованы мало. Влияние режимов бурения и выбор критерия отработки долот исследован еще меньше. Цель статьи описать влияние гидравлических, режимных параметров на показатели работы долот и определить критерий их отработки.

Под гидравлическими параметрами промывки будем понимать сочетание управляющих конструктивных параметров долота: диаметры гидромониторных насадок долота,  $d_H$  [мм]; число гидромониторных насадок,  $n$ ; диаметр долота,  $D_D$  [мм] и управляющих параметров промывки – производительность насосов,  $Q$  [л/сек]; скорость истечения бурового раствора из гидромониторных насадок долота,  $V_H$  [м/сек]; перепад давления на гидромониторных насадках долота,  $\Delta P_H$  [кг/см<sup>2</sup>]; гидравлическая сила действия струи на забой скважины,  $T_\Gamma$  [кГ] и влияния их на показатели работы долот типа PDC.

Обоснование и расчет гидравлических параметров будем вести на данных промысловых результатах отработки долот в карбонатных и терригенных породах при бурении в Восточной Сибири.

При расчетах воспользуемся [1]. Результаты, приведенные в справочнике получены на реальных конструктивных и гидравлических характеристиках бурового оборудования и обоснованы гидравлическими формулами. Для анализа гидравлических параметров одна методика вычисления гидравлических параметров позволяет установить закономерности в поведении гидравлики, цель которой и стоит в нашей статье.

1. Скорость истечения струи бурового раствора из гидромониторных насадок долота. Согласно [1, С.211]:

$$V_H = \frac{3 * (\omega_H)_{ТАБЛИЧНОЕ}}{n} \quad (1)$$

Где  $(\omega_H)_{\text{ТАБЛИЧНОЕ}}$  - табличное значение скорости истечения бурового раствора из насадок долота, м/сек;  $n$  - фактическое число насадок в долоте;  $V_H$  - фактическая скорость истечения бурового раствора из насадок долота м/сек; Из (таблицы 1), согласно (1) вычислим для первой строки скорость истечения бурового раствора из насадок долота: данное долото имеет 11 насадок различного диаметра: 4 насадки диаметром  $d_H = 7,93\text{мм}$ , 6 насадок диаметром  $d_H = 9,52\text{мм}$ , 1 насадка диаметром 11,11мм. Общая площадь насадок равна  $S = 721,22\text{мм}^2$ . Для трех различных диаметров насадки определим диаметр эквивалентной насадки  $d_{\text{ЭКВ}}$  при неизменном их количестве, равном 11 из уравнения:  $S = 0,785 * 11 * d_{\text{ЭКВ}}^2 = 721,22 \text{ мм}^2$ , откуда

Таблица 1 – Фактические показатели работы долот диаметра 295,3 мм под техническую колонну в карбонатных породах

Интервал бурения, м	Номер долбления	Тип долота	Проходка, м	Время Бурения, час	Механическая скорость, м/час	Общая нагрузка, т, сила струи на забой, кг	Насадки.колич х диаметр, мм	Производительность насосов, л/сек	Скорость истечения из насадок, м/сек	Перепада давления на долоте, кг/см <sup>2</sup> , Гидравлическая мощность долота л.с.	Рейсовая скорость, м/час
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
485-1826	1	295,3M DSi816	1341	198,6	6,75	6-16, 193	4x7,93;6x9,52; 1x11,11 S=721,22	47,5	65,86	146-230, 26,75, 169,42	5,376
485-1418	2	295,3PDC C Mi913	933	124,6	7,48	7-14, 133,4	3x11; 6x9,5 S=710	43	60,56	129-227, 23,27, 133,41	5,824
965-2395	3	295,3 PDC MM74D	1430	210,7	6,78	9-20, 197,4	4x7,94; 6x9,53 S=625,56	44	70,4	152-210, 31,57, 185,2	5,39
910-2102	4	295,3 MDSi816 LKHUB PX	1192	135,2	8,8	4-14, 96,67	6x11,11; 5x12,7 S=1214,42	42,5	35	178-255, 7,96, 45,1	6,578
808-2334	5	295,3Mi 913LPX	1526	204,2	7,48	9-21, 76,54	9x14 (1384)	41	29,62	175-218, 5,53; 31,2	5,81
882-2327	6	295,3 PDC MM65D	1445	205,4	6,9	3-14, 186,3	3x7,94;3x9,53; 1x10,32;2x11,1 S=639,74	43	67,21	153-215, 29,13, 167	5,54
337-1704	7	295,3 PDC Mi913L PX	1367	212,5	6,43	5-20, 124,7	8x11;1x9,5 S=830,726	40,5	48,79	67-210, 15; 81	5,18
338-1400	8	295,3 PDC MDZIZ 716	1062	144,9	7,32	5-19, 128,6	7x10,5 S=605,823	39,5	65,2	125-205, 21,26; 112	5,73
342-2063	9	295,3 PDC MDSi816 KHUBP X	1721	209,2	8,22	6-13, 202,6	10x11,3 1x10,3 S=1085,65	43,5	40	160-208, 18,67, 108,29	6,27
482-1067	10	295,3 Mi913L PX	585	126,3	4,63	6-14, 181,2	9x9,53 S=643,67	42,5	70,69 6	140-160, 28,16, 159,57	3,92
1067-2162	11	295,3 MDSi816 KHUBP X	1095	155,2	7,05	12-14, 266,2	2x7,94 9x8,75 S=639,69	42,5	66,44	155-202, 41,62, 235,85	5,53

$$d_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{721,22}{11 * 0,785}} = 9,14_{\text{мм}}. \text{ Используя [1, С.209] и интерполируя диаметр насадки и отношения фактической}$$

производительности насоса к табличному значению, величину скорости истечения получим:

$$V_H = \frac{3 * (\omega_H)_{\text{ТАБЛИЧНОЕ}}}{n} = \frac{3 * (101,214)}{11} * \left(\frac{47,5}{20}\right) = 65,56_{\text{м/сек}}. \text{ Расчетное значение скорости истечения бурового}$$

раствора из насадок долота, хорошо согласуется с вычислениями по [1]. Записываем расчетные величины скоростей истечения в (таблицу 1) в столбец 10, в (таблицу 2) столбец 11.

Таблица 2 – Фактические показатели работы долот под техническую колонну 295 мм для терригенных пород

Интервал бурения, м	Номер долбления.	Тип долота	Проходка, м	Время Бурения, час	Механическая скорость м/час	Осная нагрузка, т, сила струи на забой, кг	Насадки.колич x диаметр, мм, мм <sup>2</sup>	Расход, л/сек	Перепад давления на стояке, на долоте, кг/см <sup>2</sup> , гидравлическая мощность долота, Л.С.	Скорость истечения из насадок, м/сек	Рейсовая скорость, м/час
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
627 - 1863	1	295,3 VS516DH XU	1236	25,89	47,74	4-15, 188,36	3x10,3 4x9,5 S=533,23мм <sup>2</sup>	40-50	64-155, 35,34, 212	84,43	16,96
633 - 1922,7	2	295,3 VS516DH XU	1089, 7	40,40	26,97	2-14, 179,58	3x9,53 4x10,3 S=548,3	40-50	100-180, 32,77, 196,62	82,1	13,29
634 - 1580	3	295,3 VS516G2 HU	946	23,14	40,88	1- 12,7, 194,4	3x8,73 3x11,11 1x9,52 S=541,8	43,7- 48,8	148-179, 35,88, 221,23	85,36	15,96
634 - 1956	4	295,3 VS516DH XU	1322	28,17	46,93	1-15, 156,48	1x8,73(5) 1x11,11(2) S=173,11(57 5)	41-46	132-185, 90,45, 524,6	76,5	16,77
539- 1184	5	295,3 V516G2H U	355	8,1	43,91	1-14, 200,46	4x8,73 2x11,11 5x9,52 S=788,8	43-46,6	120-169, 25,44, 152	59,55	15,67
631 - 1800	6	295,3 V516G2H U	1169	25	46,76	1-15, 186,46	2x10,31 5x9,52 S=522,6	43,7- 44,5	118-193, 35,68, 209,78	84,38	16,84
645 - 2137	7	295,3 V516G2H U	1492	35,6	41,91	2-13, 186,46	2x10,32 5x9,52 S=522,93	44	100-232, 35,68, 209,78	84,29	16,22
640 - 1542	8	295,3 V516G2H U	902	18,1	49,89	1-12, 186,46	2x10,31 5x9,52 S=522,6	44	100-186, 35,68, 209,78	84,29	17,14

2. Перепад давления на гидромониторных насадках долота. По [1] [1, С.215]:

$$\Delta P_H = \frac{9 * (\Delta P_B)_{\text{ТАБЛИЧНОЕ}}}{n^2} \left(\frac{Q_{\text{ФАК}}}{Q_{\text{ТАБЛ}}}\right)^2 = \frac{9 * 63,77}{11^2} * \left(\frac{47,5}{20}\right)^2 = 26,75_{\text{кг/см}^2} \quad (2)$$

Где  $Q_{\text{ФАК}}, Q_{\text{ТАБЛ}}$  – фактическая, табличная производительность насосов.

Запишем расчетные величины перепадов давлений на долоте в (таблицу 1) в столбец 11, в (таблицу 2) столбец 10, соответственно, строка вторая в столбце.

3. Гидравлическая сила от струи бурового раствора, действующая на забой скважины. Данная сила препятствует прижатию долота к забою скважины и создания осевой нагрузки. Сила приподнимающая инструмент из-за выталкивающей силы струи из насадок долота при подвешенной колонне равна:

$$T_{\Gamma} = \Delta P_H * S = 26,75 * 721,22 = 193 \text{кг} \quad (3)$$

С приближением к забою выталкивающая сила возрастает и достигает максимума при касании долота забоя. Данная сила превышает (3) в несколько раз и сравнима с осевой нагрузкой на долото. При бурении расчетную нагрузку на долото необходимо увеличивать на величину выталкивающей силы, равной осевой нагрузке, т.е. на (2-5) т., что требует проведения дополнительных исследований. Запишем расчетные величины данных гидравлических сил в (таблицы 1-2) в столбец 7, во вторую строку столбца.

4. Гидравлическая мощность долота [1]:

$$N = \frac{\Delta P_H * Q}{7,5} = \frac{26,75 * 47,5}{7,5} = 169,42 [\text{л.с.}] \quad (4)$$

увеличивается с увеличением  $Q$  и уменьшением площади гидромониторных насадок, что увеличивает  $\Delta P_H$ . Однако, эти величины ограничены предельным давлением на выходе насоса. Следовательно, существует соотношение между диаметрами насадок, их количеством и значением  $Q$ , при которых  $N = \frac{\Delta P_H * Q}{7,5} [\text{л.с.}]$  достигнет

максимального значения, что определит ограничения на  $P_{OC}$ ,  $n_{OB}$  по верхнему диапазону их значений для поиска оптимальных значений  $P_{OC}, n_{OB}$ . [3] Фактические значения  $N [\text{л.с.}]$  по (4) запишем в столбец 11 (таблицы 1), в столбец 10 (таблицы 2) в третьей строке столбца. Соотношения между  $N [\text{л.с.}]$  и значениями  $P_{OC}, n_{OB}$  для долот PDC требуют исследований на реальных размерах долот, компоновках инструмента и гидравлических параметров промывки.

5. Режимы бурения. Для шарошечных, не гидромониторных долот

режимы бурения: осевая нагрузка на долото -  $P_{OC}, [т]$ ; число оборотов долота -  $n_{OB}, [об / мин]$  являются управляющими параметрами бурения. Для долот типа PDC (с отсутствием опоры долота) с набором конструктивных характеристик гидромониторных долот: диаметры гидромониторных насадок, [мм]; число насадок, а также гидравлическими управляемыми параметрами: производительности насосов -  $Q, [л / сек]$ ; скорость истечения струи из насадок долота -  $V_H, [м / сек]$ ; перепад давления на долоте -  $\Delta P, [кг / см^2]$  можно считать, что режимы бурения являются управляемыми параметрами от конструктивных характеристик долот PDC и управляемых гидравлических параметров -  $[Q, \Delta P, V_H]$ . Диапазон значений выбора режимов бурения определяется конструктивными характеристиками гидромониторных насадок и  $[Q, \Delta P, V_H]$ . Хотя значения  $P_{OC}, n_{OB}$  возможно вычислять самостоятельно (независимо), но их допустимые величины  $P^+_{OC}, n^+_{OB} / мин$  ограничиваются приведенными выше характеристиками гидромониторных долот PDC. Если гидромониторная скорость струи бурового раствора не будет разрушать горную породу, то увеличивая  $P_{OC}, n_{OB}$  мы не увеличим скорость бурения или увеличим незначительно. Гидромониторный эффект разрушения горной породы начинается со скорости истечения бурового раствора из насадок долота не менее 80 м/сек. [2]. При бурении винтовыми забойными двигателями наибольшее значение  $P^+_{OC}$  определяется по максимальному крутящему моменту на ВЗД при определенном  $Q^+$ , которое меньше, чем при бурении ротором из-за утечек бурового раствора в шпинделе ВЗД. Величина  $Q^+$  определяется конструктивными характеристиками ВЗД. [2]

При бурении ротором максимальная  $P^+_{OC}$  определяется из допустимого крутящего момента на долоте, при котором допустимая нагрузка на бурильную колонну не будет больше допустимой крутящего момента на нормальное напряжение с учетом касательного напряжения. [3]

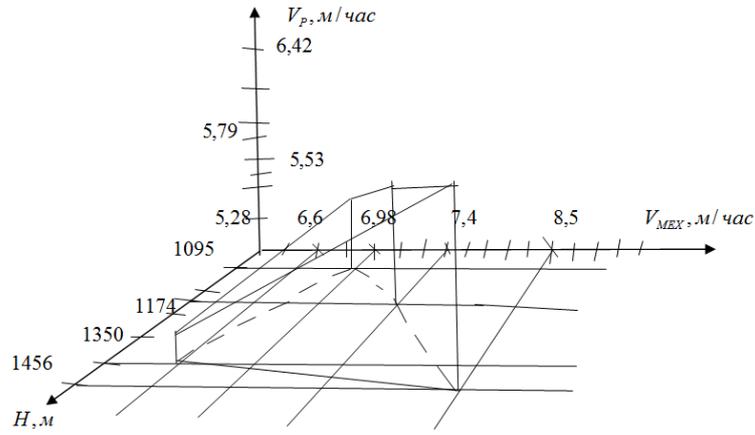


Рис. 1 – Зависимость  $N_M = f(S, Q)$  по данным (таблицы 1)

Используя [1], покажем, как изменяется гидравлическая мощность долота от диаметров гидромониторных насадок и величины  $Q$ .

Построим график зависимости рейсовой скорости  $V_p = f(V_{MEX}, H)$  для карбонатных пород по данным (таблицы 1).

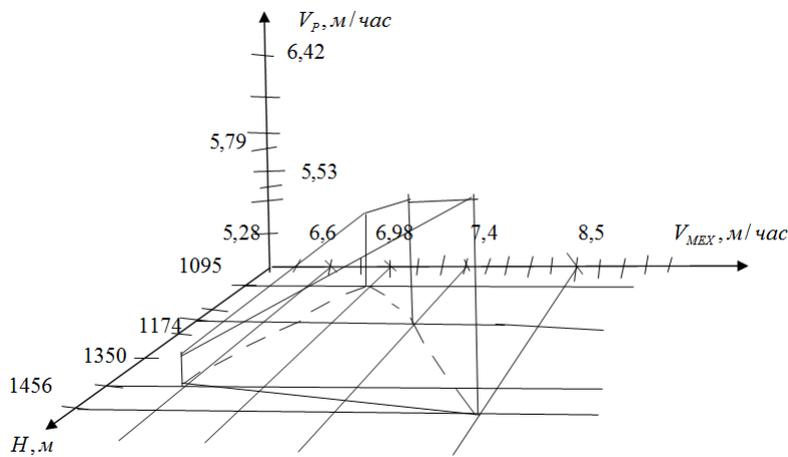


Рис. 2 – Функция  $V_p = f(V_{MEX}, H)$  для карбонатных пород диаметр долота 295 мм

Построим график зависимости  $V_p = f(V_{MEX}, H)$  для терригенных пород по данным (таблицы 2). Гидравлическую мощность долота можно повысить, увеличивая производительность насоса и уменьшая площадь сечения насадок в долоте.

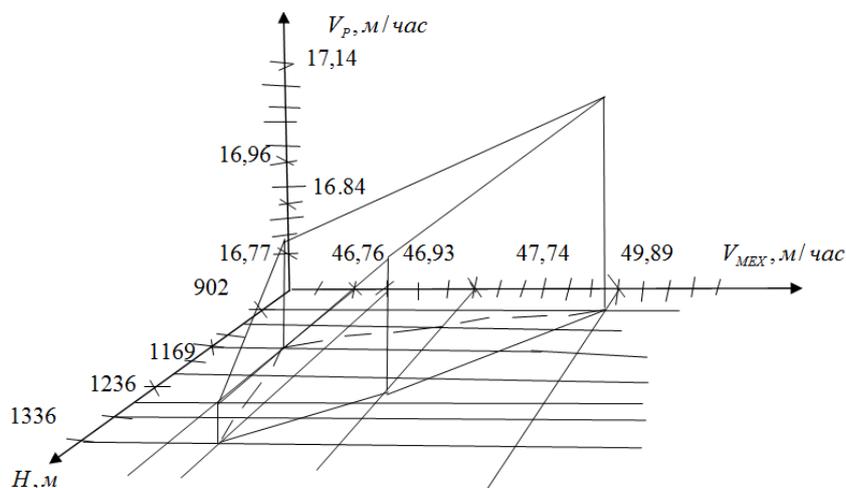


Рис. 3 – Функция  $V_p = f(V_{MEX}, H)$  для терригенных пород диаметр долота 295 мм

С увеличением  $V_{MEX}$  и максимального значения проходки в карбонатных породах значение  $V_p$  достигает (Рис. 2) максимального значения. В терригенных породах с максимальной  $V_{MEX}$  и минимальным значением проходки  $V_p$

достигает максимального значения, так как  $V_{MEX}$  в терригенных породах почти в 6 раз больше, чем в карбонатных. Тенденция роста  $V_p$  с уменьшением проходки и ростом механической скорости прослеживается. В карбонатных породах на график  $V_p = f(V_{MEX}, H)$  сильно влияет качество работы ВЗД, которое неизвестно в данных промысловых данных.

Зависимости механической скорости бурения  $V_{MEX}$  от гидравлических параметров гидромониторного долота PDC:  $Q, \Delta P, V_H$ , конструктивных параметров  $d_H, n$  и значений осевой нагрузки на долото  $P_{OC}$  и  $n_{OB}$  возможно получить исследуя фактические промысловые параметры долблений, а также в процессе долбления, специально проводя замеры механической скорости бурения хотя бы при трех фиксированных  $P_{OC}$  и  $n_{OB}$ . Замеры механической скорости бурения при трех фиксированных  $P_{OC}$  и  $n_{OB}$  в процессе долбления следует проводить следующим образом. Такие замеры необходимо проводить в начале долбления, в середине долбления и в конце долбления перед подъемом долота. Фиксируются значения  $P1$  и  $n1_{OB}$  и в процессе бурения 1 м замеряется время бурения  $t1_{BVP}$  [час]; крутящий момент на долоте  $M10_{KP}; M1_{KP}$  [кг\*м], где крутящий момент  $M10_{KP}$  измеряется при нулевой нагрузке на долото и при нагрузке на долото  $P1 - M1_{KP}$ . При турбинном бурении при застопоренном роторе. Затем фиксируются значения  $P2_{OC}$  и  $n2_{OB}$  с шагом по нагрузке не менее (2-3)т и по числу оборотов, насколько позволяет конструкция ротора, но не менее 20 об/мин и также фиксируется время бурения 1м -  $t2_{BVP}$ ;  $M20_{KP}; M2_{KP}$ . Затем фиксируются значения  $P3_{OC}$  и  $n3_{OB}$  и замеряется время бурения 1м  $t3_{BVP}$ ;  $M30_{KP}, M3_{KP}$ . Назовем проведение таких долблений базисными долблениями, позволяющими установить зависимости параметров долота, гидравлики и режимов бурения с показателями или значениями механической скорости бурения. Вместо приведенных рекомендаций проведения базисных долблений возможны аналитические исследования указанных зависимостей на реальных стендах, что не исключает все же проведение базисных долблений и занесения полученной базисной информации в карточки отработки долот для проведения и использования аналитических исследований в практическом бурении. В процессе проведения базисных долблений получим следующую информацию:

$$D_{дв}, (ni, di_H), Qi, \Delta Pi, V_{MEXi}, Hi, T_{Гi}, Ni \begin{cases} P1_{OC}; n1_{OB}; t1_{BVP}; M10_{KP}; M1_{KP} \\ P2_{OC}; n2_{OB}; t2_{BVP}; M20_{KP}; M2_{KP} \\ P3_{OC}; n3_{OB}; t3_{BVP}; M30_{KP}; M3_{KP} \end{cases} \quad (5)$$

По полученным значениям в (5) вычислим средний удельный крутящий момент:  $tg \alpha_{cp} = \left( \frac{M2_{KP} - M1_{KP}}{P2_{OC} - P1_{OC}} + \frac{M3_{KP} - M2_{KP}}{P3_{OC} - P2_{OC}} + \frac{M3_{KP} - M2_{KP}}{P3_{OC} - P2_{OC}} \right) : 3 = M_{уд}(P)$

в зависимости от диаметра долота и типа свиты. На Рис.4 показана качественная зависимость крутящего момента на долоте и значений осевой нагрузки.

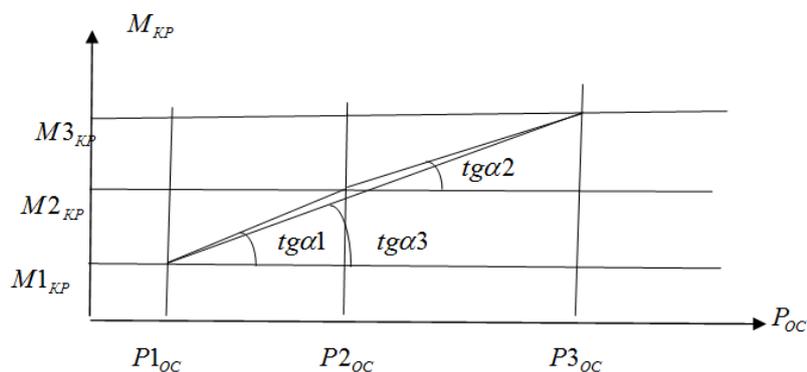


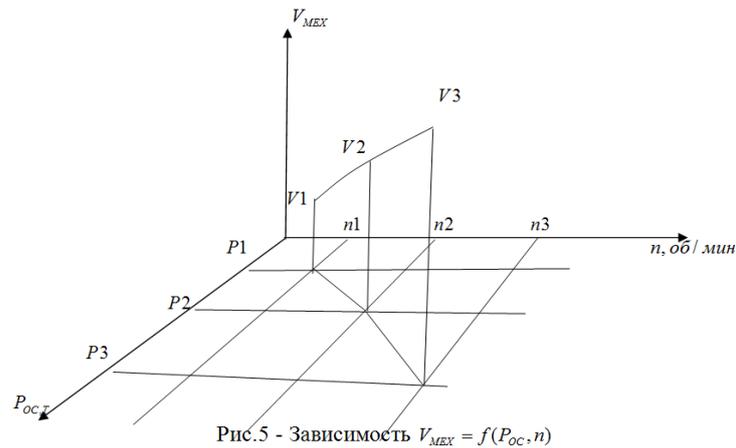
Рис. 4 – Качественная зависимость крутящего момента на долоте от осевой нагрузки

Изучение интенсивности разрушения горной породы во времени в сопоставлении с характеристиками долбления: механической скоростью, проходкой и временем бурения с одной стороны, значениями режимов бурения – осевой нагрузки на долото; числа оборотов долота, производительностью и площадью гидромониторных насадок. и значением магнитной проницаемости выбуренной горной породы с другой. В процессе долбления долото изнашивается и продукты его износа выносятся вместе с породой. Замер магнитной проницаемости горной породы в процессе долбления, совместно с режимами бурения и полученными показателями позволяют получить закономерности износа долота от режимов и влияния их на показатели бурения. Бурение гидромониторным долотом не изучено и влияние гидравлической мощности долота и режимов бурения на механическую скорость проходки во времени требует изучения. Изучение данных взаимодействий требует проведения лабораторных и промысловых исследований.

Промысловые исследования зависимостей показателей бурения: механической скорости бурения, проходки на долото, времени бурения от гидравлической мощности долота, осевой нагрузки и числа оборотов связано с трудностями получения текущих показателей бурения в процессе бурения.

В промысловых данных законченных долблений показаны конечные показатели долбления: проходка на долото, механическая скорость, время бурения. Показатели долбления в процессе бурения - время бурения «однотрубки» бурильных труб отсутствуют. Поэтому использовать критерий подъема долота по промысловым данным невозможно, невозможно изучить зависимости изменения механической скорости бурения в процессе долбления, а отсутствие информации вида (5) не позволяет установить зависимости режимов бурения от показателей бурения. С помощью одной теории невозможно получить такие зависимости и, следовательно, не только управлять процессом отработки долота, но и проектировать показатели бурения в процессе проектирования скважин. Структура информации, показанная в (5) должна быть базисной.

Покажем, как в производственных условиях использовать структуру информации (5).

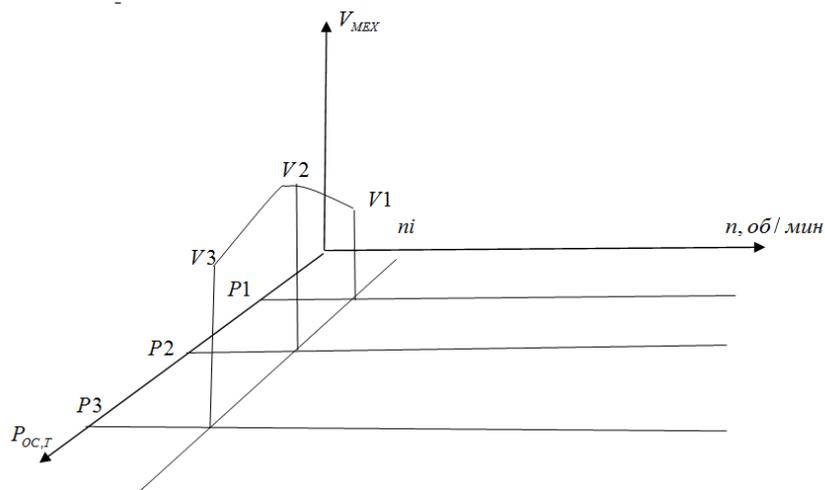
Рис.5 - Зависимость  $V_{MEX} = f(P_{OC}, n)$ Рис. 5 – Зависимость  $V_{MEX} = f(P_{OC}, n)$ 

Выбираем на (рис.5) второй или третий режим и бурим до следующего базисного долбления. Если выбрали режим бурения для третьего базисного долбления, то следующие базисные долбления проводим с режимами:  $P1, P2, P3 + \Delta P$  и  $n1, n2, n3$ .

Тогда качественные зависимости показателей бурения от осевой нагрузки показаны на (рис.6)

Число оборотов долота в процессе проведения базисных долблений может оставаться постоянным.

На рис.6 показан случай проведения базисных долблений при постоянном числе оборотов долота.

Рис.6 - Зависимость  $V_{MEX}$  при  $n = const; P = var$ 

На (рис.7) показан график зависимостей рейсовой скорости от времени бурения и проходки на долото по номерам указанных долблений №5, №6, №11 и №3 в (таблице 3).

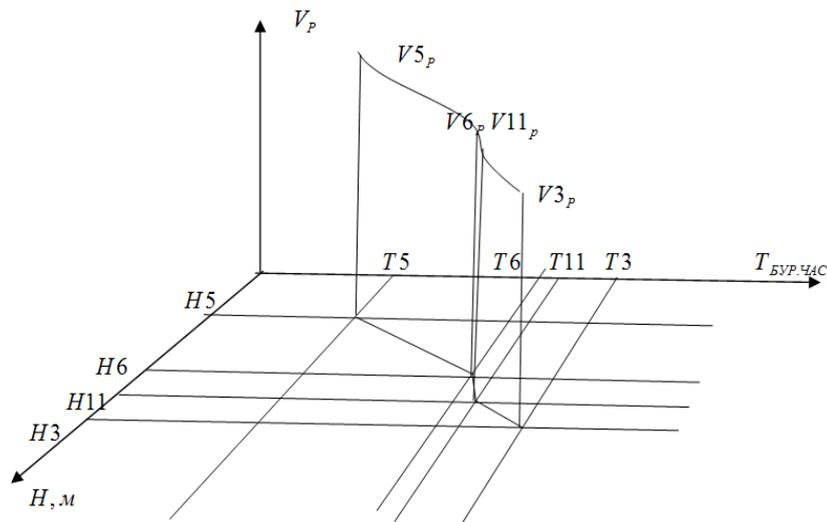


Рис. 7 – Зависимость рейсовой скорости от времени бурения и проходки

Если режимы бурения держим постоянными после проведения базисных долблений до следующего базисного долбления, обязательно проводим замер времени бурения каждой «однотрубки» и одновременно вычисляем значение рейсовой скорости по формуле:

$$V_{Pi} = \frac{12,5 * i}{\left( \sum_{i=1}^N t_{Bi} + T_{СПОi} + (T_{НАР} + T_{ПРОМ}) * (i - 1) \right)} \quad (6)$$

Где  $i$  – порядковый номер наращивания «однотрубки»;  $i = \frac{H_j}{12,5}$ ,  $H_j$  – нарастающая проходка в момент наращивания.

Следовательно, пятое долбление с проходкой  $H_5 = 686 \text{ м}$ , временем бурения  $T_{B5} = 9,93 \text{ час}$  и рейсовой скоростью  $V_{5p} = 17,69 \text{ м/час}$  является оптимальным долблением, так как оно обеспечивает минимальное бурение интервала под хвостовик в интервале 2188-2874 м.

Долбление с максимальным значением рейсовой скорости соответствует минимальному времени рассматриваемого интервала бурения.

Таблица 3 – Фактические показатели работы долот под хвостовик колонну диаметра 152,4 мм в терригенных породах Красноярского края

Интервал бурения, м	Номер долбления.	Тип долота	Проходка, м	Время бурения, час	Механическая скорость, м/час	Осевая нагрузка, т	Насадки.колич / диаметр, мм	Расход, л/сек	Давление, Кгс/См <sup>2</sup>	Скорость Истечения из насадок, м/сек	Рейсовая скорость, м/час	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3537-4330	1	152,4 VS 416G2HU	793	16,84	47,09	1-7	6x7,14; S=240,1 1	14	120-195	58,3	15,6	Ротор+ РУС
3751-4905	2	152,4 VS 416G2HU	1018	28,52	35,7	2-6	6x7,14 S=240,1 1	14	155-228	58,3	14,1	---
2244-3371	3	152,4 VS 515G2U	1127	24,57	46,87	до 10	5x7,94; S=247,4 5	14	112-229	56,58	16,14	Ротор- РУС
2775-3601	4	152,4VS 516G2U	826	18,41	44,87	2-9	5x7,94; S=247,4 5	15,5	123-253	62,64	15,58	Ротор- РУС
2188-2874	5	152,4VS 516G2U	686	9,93	69,08	До 10	5x7,14; S=200	14	128-186	70	17,69	Ротор- РУС
2733-3772	6	152,4VS 416G2HU	1039	20	51,89	4,5	5x7,14; S=200	14	171-226	70	16,63	Ротор- РУС
3074-3911	7	152,4VS 516G2U	837	19,41	43,12	4,0	5x7,14; S=200	14	148-251	70	15,29	
2171-2818	8	152,4VS 416HU	647	16	40,44	До 5	6x7,14; S=240,1 1	14	153-242	58,3	14,92	Ротор+ РУС
2235-3300	9	152,4VS 416HU	1065	45,9	23,20	До 10	6x7,14 S=240,1 1	14	158-260	58,3	11,95	Ротор+ РУС
2582-3316	10	152,4VS 416G2HU	734	26,18	28,04	4,5	6x7,14 S=240,1 1	16	129-201	66,64	12,79	Ротор+ РУС
2140-3230	11	152,4V 416HU	1090	20,47	53,24	4,5	6x9,53 S=427,7 7	14	150-236	32,73	16,93	Ротор+ РУС

**Выводы**

При одинаковых конструкциях скважин, глубин бурения в карбонатных и терригенных породах Восточной Сибири потенциальные возможности для карбонатных пород возможны при использовании компоновок РУС. С увеличением гидравлических параметров долот увеличиваются показатели работы долот РДС. В сильно искривленных скважинах необходимо увеличить число ТБТ в обсаженном вертикальном участке ствола.

Проведение базисных долблений в процессе бурения долотами РДС необходимо для установления качественных и количественных закономерностей режимов бурения на показатели бурения и выбора эмпирических моделей работы долот.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Миттельман Б.И. Справочником по гидравлическим расчетам в бурении / Б.И. Миттельман.- Москва. Государственное научно – техническое издание нефтяной и горно-топливной литературы: 1963. - 257 с.
2. Балденко Ф. Д. Расчеты бурового оборудования / Ф. Д. Балденко. -Москва. : РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина: 2012. – 428 с.
3. Инструкция по расчету бурильных колонн (РД 39 – 01147014-502 - 85),– Куйбышев; ВНИИТнефть, 1986. – 129 с.
4. Бронзов А. С. Кустовое строительство скважин на нефтяных и газовых промыслах / А. С. Бронзов. - Москва. ГОСТОПТЕХИЗДАТ; 1962. - 326 с.

5. Вудс Г., Лубинский А. Искривление скважин при бурении / Г. Вудс, А. Лубинский. - Москва. ГОСТОПТЕХИЗДАТ; 1960. – 160 с.
6. Григорян А. М. Вскрытие пластов многозабойными и горизонтальными скважинами / А. М. Григорян. - Москва. Недра; 1969. – 192 с.
7. Булатов А. И. Проектирование конструкций скважин / А. И. Булатов, Л. Б. Измайлов. О. А. Лебедев. - Москва. Недра; 1979. – 280 с.
8. Булатов А. И. Решение практических задач при бурении и освоении скважин / А. И. Булатов, Ю. М. Проселков. – Краснодар. Советская Кубань; 2006. – 744 с.
9. . Басарыгин Ю. М. Заканчивание скважин. / Ю. М. Басарыгин, А. И. Булатов, Ю. М. Проселков. – Москва. Недра; 2000. – 670 с.
10. Булатов А. И. Бурение горизонтальных скважин / А. И. Булатов, Е. Ю. Проселков, Ю. М. Проселков. – Краснодар. Советская Кубань; 2005. – 424 с.

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

1. Mittelman B. I. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam v burenii [Reference for hydraulic calculations in drilling] / B. I. Mittelman. - Moscow. State scientific and technical publication the oil and fuel mining literature. 1963. – 257 p. [in Russian]
2. Baldenko F. D. Raschet byrovogo oborydovaniy [Calculation of drilling equipment] / F. D. Baldenko. - Moscow. Gubkin Russian State University of oil and gas. 2012. - 428 p. [in Russian]
3. Instrukciy po raschetu burilnyh kolonn [Instructions for the calculation of drilling columns] / (RD 39-01147014-502-85).- Kuibyshev; VNIITneft, 1986. -129 p. [in Russian]
4. Bronzov A.S. Kustovoe stroitelstvo skvagin on neft and gas promyslah [Bush construction of wells on oil and gas Fisheries] / A. S. Bronzov. - Moscow. Leningrad 1962. - 326 p. [in Russian]
5. Woods G., Lubinsky A. Iskrivlenie scvagin for burenii [Warp wells Drilling] / G. Woods, A. Lubinskiy. - Moscow. Leningrad. 1960. – 160 p. [in Russian]
6. Grigoryan A. M. Vskrytie plastov mnogozaboynymi and gorizontalnymi skvaginami [Opening of layers by multi-hole and horizontal wells] / A. M. Hrynarian. - Moscow. Nedra, 1969. 192 p. [in Russian]
7. Bulatov A. I., Izmailov L. B., Lebedev O. A. Proektirovanie konstrukcii skvagin [Design of Well constructions] / A. I. Bulatov, L. B. Izmaylov. O. A. Lebedev. - Moscow. Bowels 1979. – 280 p. [in Russian]
8. Bulatov A. I., Proselkov Y. M. Reshenie prakticheskikh zadash pri burenii and osvoenii skvagin [Solution of practical problems in drilling and development of Wells] / A. I. Bulatov, Y. M. Proselkov. Krasnodar. Soviet Kuban; 2006. – 744 p. [in Russian]
9. . Basarygin Y., Bulatov A.I., Proselkov Y, M. Zakanchivanie skvagin [completion wells] / Y. Basarygin, A.I. Bulatov, Y. M. Proselkov . Moscow. Bowels 2000. – 670 p. [in Russian]
10. . Bulatov A.I., Proselkov E. Y., Proselkov Burenie gorizontalnyh skvagin [drilling gorizontaL Wells] / A. I. Bulatov, E. Y. Proselkov, Yu. M. Proselkov. Krasnodar. Soviet Kuban; 2005. – 424 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.010>**ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ЗРЕЛОСТИ ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИНСАЙДЕРСКИМ УГРОЗАМ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Научная статья

**Поляничко М.А.\***

ORCID: 0000-0002-8817-7921,

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Санкт-Петербург, Россия

\* Корреспондирующий автор (polyanichko[at]pgups.ru)

**Аннотация**

Модели зрелости возможностей (СММИ) используются для поэтапного совершенствования различных процессов в организациях. Уровни зрелости описаны от начального уровня, на котором процессы противодействия инсайдерам в организации не контролируются и происходят хаотично до оптимизируемого уровня, на котором процессы измеряются и контролируются. Приведенные характеристики уровней зрелости позволяют классифицировать возможности организации по выявлению внутренних угроз информационной безопасности и противостоянию им.

**Ключевые слова:** внутренние угрозы информационной безопасности, инсайдер, СММИ, модель зрелости, управление информационной безопасностью.

**APPLICATION OF A MATURITY MODEL TO ACTION AGAINST INTERNAL THREATS TO INFORMATION SECURITY**

Research article

**Polyanichko M.A.\***<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8817-7921,

FSBEI of HE “Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,” St. Petersburg, Russia

\* Corresponding author (polyanichko[at]pgups.ru)

**Abstract**

Capability Maturity Models (CMMI) are used to gradually improve various processes in organizations. Maturity levels are described from the initial level with the processes of acting against insiders in an organization are not controlled and occur randomly to an optimized level where processes are measured and controlled. The above characteristics of maturity levels allow classifying the organization's ability to identify internal threats to information security and to act against them.

**Keywords:** internal threats to information security, insider, CMMI, maturity model, information security management.

Внутренние (инсайдерские угрозы) информационной безопасности — это угрозы, которые исходят от штатных работников организации [8] и работников работающих по подряду. Современные организации не могут существовать без использования информационных технологий и все лица, имеющие доступ к ее информационным активам, представляют потенциальную опасность. Эта ситуация свидетельствует о том, что проблема инсайдеров будет приобретать всё большую актуальность [5]. Инсайдерские угрозы информационной безопасности сложнее поддаются решению, чем технические угрозы. Для их решения требуется сочетание социологических и социально-технических методов [4]. Люди демонстрируют полиморфное поведение, например, они склонны скрывать свои истинные эмоции от окружающих, и они, как правило, меняют своё поведение в зависимости от изменения ситуации [3]. Инсайдер может ждать подходящего момента, чтобы войти в систему и совершить кражу интеллектуальной собственности. Он будет постоянно анализировать и оценивать риск быть пойманным в сопоставлении с вознаграждением за совершение кражи. Обнаружение инсайдеров может осуществляться путем внедрения комплекса организационных и технологических мер.

Применяемый в организации комплекс мер может быть оценен с использованием модели зрелости процессов. Capability Maturity Model Integration (CMMI) – набор моделей (методологий) совершенствования рабочих процессов в организациях. В СММИ содержится набор практических рекомендаций, применение которых в работе может позволить достичь уровня защищенности, необходимого для обеспечения устойчивого функционирования организации в целом или ее отдельных подразделений [7]. Совершенствование процессов подразумевает выполнения процесса, который содержит несколько этапов. Модель СММИ формализует данные этапы. В ней предлагает 5 уровней зрелости (Таблица 1), каждый из которых указывает на зрелость процессов организации.

Таблица 1 – Уровни зрелости управления

Название уровня	Описание
1. Начальный	Процессы, происходящие в организации формально не определены, и не контролируются.
2. Интуитивно управляемый	Формально определены единичные процессы. Формализация процессы появляются в ответ на определенные внутренние или внешние воздействия.
3. Определенный	Процессы формально определены во всей организации. Процессы исполняются заблаговременно.
4. Управляемый количественно	Процессы измеряются и контролируются.
5. Оптимизируемый	Совершенствование процессов происходит на постоянной основе.

Данная статья предлагает многоуровневую модель СММИ применительно к управлению процессом противодействия инсайдерским угрозам в организации. Предлагаемые уровни приведены ниже [7].

Начальный уровень зрелости управления процессами противодействия инсайдерской угрозе

Характеристика уровня:

- Существуют отдельные изолированные процессы или функции.
- Отсутствуют четко определенные роли и обязанности.
- В основном реактивная деятельность с минимальной или вообще без официальной стратегии профилактики.

Результатирующее состояние:

- Повышенный уровень проявления инсайдерской угрозы.
- Медленная реакция в случае, если угроза будет реализована.

Интуитивно управляемый уровень зрелости управления процессами противодействия инсайдерской угрозе

Характеристика уровня:

– Используются существующие процессы или функции безопасности для предотвращения инсайдерской угрозы, формальная программа противодействия инсайдерской угрозе отсутствует.

- Отсутствует формализованное обучение для сотрудников или поставщиков.
- Связность процедур неразвита.

Результатирующее состояние:

- Ограниченные возможности обнаружения.
- Непоследовательность в реагировании, в зависимости от характера инцидента.
- Неадекватные процедуры управления последствиями.

Определенный уровень зрелости управления процессами противодействия инсайдерской угрозе

Характеристика уровня:

– Существует формальная программа противодействия инсайдерской угрозе со специализированными политиками и процессами, которые согласуются с существующими программами информационной и корпоративной безопасности.

- Принята стратегия обнаружения инсайдерских угроз.
- Созданы планы реагирования на инциденты, включающие обработку событий внутренних угроз.
- Введены официальные процедуры управления последствиями.
- Созданы информационные ресурсы, посвященные инсайдерской угрозе.
- Разработана учебная программа для сотрудников и поставщиков.
- Отсутствует полное понимания важнейших активов организации.

Результатирующее состояние:

– Общеорганизационная осведомленность об инсайдерских угрозах.

– Повышенная способность обнаруживать инсайдерские угрозы с помощью традиционных технологий информационной безопасности, таких как защита от потери данных, мониторинг конечных точек и т. д.

– Оперативная эффективность, достигнутая благодаря скоординированным усилиям всех заинтересованных сторон.

- Согласованность мониторинга и защиты активов.
- Единообразие в обработке инцидентов.
- Некоторые критически важные активы более подвержены инсайдерским угрозам, чем другие.

Управляемый количественно уровень зрелости управления процессами противодействия инсайдерской угрозе

Характеристика уровня:

- Созданы ключевые показатели эффективности для оценки эффективности программы.
- Внедрен итеративный подход, обеспечивающий непрерывное улучшение.
- Сильная дисциплина управления информацией, лежащей в основе программы противодействия инсайдерским угрозам.

– Существуют отдельные индикаторы риска, разработанные для мониторинга критических активов.

– Использует технологии анализа данных, такие как поведенческий анализ, для выявления скрытых связей и мотивов.

Результатирующее состояние:

- Разностороннее понимание важнейших активов организации и рисков, которые с ними связаны.
- Расширенные возможности мониторинга и устранения внутренних угроз.
- Непрерывное совершенствование программы.
- Захватывает ранее пропущенные признаки, указывавшие на наличие потенциальной инсайдерской угрозы.
- Измеримое снижение количества инцидентов с участием инсайдерских угроз.

Оптимизируемый уровень зрелости управления процессами противодействия инсайдерской угрозе

Характеристика уровня:

– Программа противодействия инсайдерским угрозам полностью интегрирована в стратегию управления рисками предприятия.

– Упреждающей защите и реагированию на инсайдерские угрозы уделено повышенное внимание.

– Развернута инфраструктура Big Data, обеспечивающая доступ и интеграцию всех необходимых источников данных в организации.

– Расширенный набор индикаторов риска с использованием платформы больших данных, передовых технологий анализа данных и организационных знаний.

Результатирующее состояние:

- Значительное снижение случаев реализации инсайдерской угрозы.

- Расширяет преимущества программы противодействия инсайдерским угрозам на другие бизнес-императивы, такие как управление рисками, внутренний контроль и управление талантами.
- Повышение защищенности процессов внутреннего контроля и потенциала управления рисками организации.
- Своевременное реагирование на судебные и нормативные запросы о предоставлении данных.

Модели зрелости эффективно применяются в качестве инструмента объективной оценки степени повторяемости, последовательности и эффективности определенных видов деятельности или процессов в различных областях деятельности [7]. Инсайдерская угроза не является новым риском, но применение человеко-ориентированного подхода при обеспечении информационной безопасности является достаточно новой практикой [10], [11], [12]. Приведенные характеристики уровней зрелости могут позволить классифицировать возможности организации по выявлению внутренних угроз информационной безопасности и противостоянию им.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Chinchani R. Towards a theory of insider threat assessment / Chinchani R. // International Conference In Dependable Systems and Networks. 2005. С. 108–117.
2. Force A.I.R. Countering Insider Threats – Handling Insider Threats Using Dynamic / Force A.I.R., Directorate I. , Run-Time Forensics 2007. № October.
3. Greitzer F.L. Modeling Human Behavior to Anticipate Insider Attacks / Greitzer F.L., Hohimer R.E.// Journal of Strategic Security. 2011. № 2 (4). С. 25–48.
4. Hunker J. Insiders and insider threats—an overview of definitions and mitigation techniques / Hunker J., Probst C. // Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous .... 2011. С. 4–27.
5. Insider Threat Report: 2018 - CA Technologies // CA Technologies [Электронный ресурс] URL: <https://www.ca.com/content/dam/ca/us/files/ebook/insider-threat-report.pdf> (дата обращения: 18.07.2018).
6. Udoeyop A.W. Cyber Profiling for Insider Threat Detection 2010. С. 70.
7. Денис М. Ахен, СММИ: Комплексный подход к совершенствованию процессов. Практическое введение в модель / Денис М. Ахен, Арон Клауз, Ричард Тернер. — М: «МФК», 2005, 300 с. ISBN 5-85389-082-4.
8. Поляничко М.А. Предметно-ориентированная онтология представления инсайдерской угрозы / Поляничко М.А. // Естественные и технические науки. 2018. - №12., Выпуск (126). - 2018 - с. 453 - 458.
9. Поляничко М.А. Внутренние угрозы информационным системам на транспорте / Поляничко М.А. // Интеллектуальные системы на транспорте Сборник материалов Первой международной научно- практической конференции. - СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. (2011).
10. Поляничко М.А. Подход к выявлению инсайдерских угроз в организации / Поляничко М.А., Королев А.И. // Естественные и технические науки. 2018. - №9., Выпуск (123). - 2018 - с. 152 - 154.
11. Поляничко М.А. Человеко-ориентированный подход к обеспечению кибербезопасности / Поляничко М.А., Пуанова К.В. // Естественные и технические науки. 2018. - №12., Выпуск (126). - 2018 - с. 458 - 462.
12. Поляничко М.А. О возможностях применения имитационного моделирования для обнаружения инсайдерских угроз / Поляничко М.А., Хазбиев А.О. // Естественные и технические науки. 2019. - № 1., Выпуск (129). - 2019 - с. 155 - 158.

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

1. Chinchani R. [et al.]. Towards a theory of insider threat assessment // International Conference In Dependable Systems and Networks. 2005. P. 108–117.
2. Force A.I.R., Directorate I. Countering Insider Threats – Handling Insider Threats Using Dynamic, Run-Time Forensics 2007. No. October.
3. Greitzer F.L., Hohimer R.E. Modeling Human Behavior to Anticipate Insider Attacks // Journal of Strategic Security. 2011. No. 2 (4). P. 25–48.
4. Hunker J., Probst C. Insiders and insider threats—an overview of definitions and mitigation techniques // Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous .... 2011. P. 4–27.
5. Insider Threat Report: 2018 - CA Technologies // CA Technologies URL: <https://www.ca.com/content/dam/ca/us/files/ebook/insider-threat-report.pdf> (accessed: 18.07.2018).
6. Udoeyop A.W. Cyber Profiling for Insider Threat Detection 2010. С. 70.
7. Denis M. Aachen, Aaron Clause, Richard Turner CMMI: Kompleksnyi podkhod k sovershenstvovaniyu protsessov [Integrated Approach to Process Improvement]. Practical Introduction to the Model. - М: "IFC," 2005, 300 p. ISBN 5-85389-082-4. [In Russian]
8. Polyanychko M.A. Predmetno-Orientirovannaya ontologiya predstavleniya insaiderskoj ugrozy [Domain-specific Ontology of the Insider Threat Presentation] // Yestestvennyye i tekhnicheskkiye nauki [Natural and Technical Sciences]. 2018. - No.12., Issue (126). - 2018 - P. 453 - 458. [In Russian]
9. Polyanichko M.A. Vnutrennie ugrozy informatsionnym sistemam na transporte [Internal Threats to Transport Information Systems] // Intellectual Systems in Transport. Collection of Materials of the First International Research-to-Practice Conference. - SPb.: Petersburg State University of Communications of Emperor Alexander I. (2011). [In Russian]
10. Polyanichko M.A., Korolev A.I. Podkhod k vyavleniyu insaiderskikh ugroz v organizatsii [Approach to Identifying Insider Threats in an Organization] // Yestestvennyye i tekhnicheskkiye nauki [Natural and Technical Sciences]. 2018. - No.9., Issue (123). - 2018 - p. 152 - 154. [In Russian]
11. Polyanichko M.A., Puanova K.V. Cheloveko-orientirovanniy podkhod k obespecheniyu kiberbezopasnosti [Human-Centered Approach to Cybersecurity] // Yestestvennyye i tekhnicheskkiye nauki [Natural and Technical Sciences]. 2018. - No.12., Issue (126). - 2018 - p. 458 - 462. [In Russian]
12. Polyanichko M.A., Khazbiev A.O. O vozmozhnostyakh primeneniya imitatsionnogo modelirovaniya dlia obnaruzheniya insaiderskikh ugroz [On the Possibilities of Using Simulation to Detect Insider Threats] // Yestestvennyye i tekhnicheskkiye nauki [Natural and Technical Sciences]. 2019. - No. 1., Release (129). - 2019 - p. 155 - 158. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.011>

## КАВИТАЦИОННОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ КАОЛИНА В КИСЛОТНОМ РАСТВОРЕ

Научная статья

Еранская Т.Ю.\*

ORCID: 0000-0003-4050-6121,

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия

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

### Аннотация

Разработан новый способ и исследовано влияние ультразвуковой кавитации на процесс разложения в азотнокислом растворе предварительно обожженного каолинового концентрата на алюминатную и силикатную составляющие. Определены зависимости выхода гидроксида алюминия от температуры предварительного обжига, времени кавитационной обработки, кислотности раствора. Разработана схема процесса в лабораторных условиях. Максимальный выход гидроксида алюминия составил 91,44% от стехиометрического содержания алюминия в породе.

**Ключевые слова:** ультразвуковая кавитация, обжиг каолина, каолинит, метакаолинит, алюминатный раствор, гидроксид алюминия.

## CAVITATIONAL DECOMPOSITION OF KAOLIN IN ACID SOLUTION

Research article

Yeranskaya T.Yu. \*

ORCID: 0000-0003-4050-6121,

Institute of Geology and Nature Management of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, Russia

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

### Abstract

The new method has been developed in this work; the effect of ultrasonic cavitation on the decomposition of a pre-calcined kaolin concentrate in a nitric acid solution into aluminate and silicate components has been studied as well. The authors determined the dependences of the yield of aluminum hydroxide on the preliminary calcination temperature, the cavitation treatment time, and the acidity of the solution. The process scheme was developed in the laboratory. The maximum yield of aluminum hydroxide was 91.44% of the stoichiometrical content of aluminum in the rock.

**Keywords:** ultrasonic cavitation, kaolin roasting, kaolinite, metakaolinite, aluminate solution, aluminum hydroxide.

### Введение

Разрушающее действие кавитации научились использовать. Ее положительное влияние на объекты основано на изменении физических и химических свойств твердых материалов и жидкостей. Кавитацию используют в пищевой, косметической, фармацевтической промышленности для смешивания трудно смешиваемых жидкостей, для отмывки изделий со сложной поверхностью, как основную операцию технологического процесса в химическом производстве для ускорения процессов. В металлургии кавитация применяется при рафинировании жидких металлов или выделения шлаков.

В добывающей промышленности кавитацию практически не используют. Есть сведения о ее применении в ограниченном масштабе при дроблении минералов до микроуровня как предварительную операцию перед последующей химической обработкой.

В наших экспериментах кавитация применяется как операция основного технологического процесса – разложение каолинового концентрата на алюминатную и силикатную составляющие в азотнокислом растворе.

Каолины трудно взаимодействуют с растворами химических веществ. Это связано с особенностями их кристаллического строения. Основной минерал каолина – каолинит имеет двухслойную пластинчатую структуру с прочной связью между слоями по типу О – Н, что препятствует внутрикристаллическому разбуханию решетки и проникновению в нее ионов и катионов реагента. Поэтому без дополнительной активации взаимодействие может происходить только на внешних механически разорванных связях.

В настоящих исследованиях была поставлена задача: в условиях кавитационного воздействия на каолиновый концентрат в растворе азотной кислоты получить максимально возможное количество алюмината и определить условия для максимального выхода на действующей установке.

При выполнении этой задачи использовали собственный опыт по технологии кавитационной обработки [1], [2], [3] и технологии ультразвуковой и электроискровой обработке необожженного каолина в кислотах и щелочах, т.к. в литературных источниках нет сведений о подобного рода работах.

### Методика эксперимента

Укрупненно технологический процесс состоит из следующих операций: подготовка каолинового концентрата путем обжига, кавитирование порции обожженного каолина в растворе кислоты, фильтрация полученного рабочего раствора от непрореагировавшего осадка, упаривание раствора, осаждение гелеобразного осадка аммиачным раствором, фильтрация геля и его сушка с получением гидроксида алюминия, получение глинозема. Для оценки

эффекта от кавитации в лабораторных условиях ограничились получением гидроксида. На этапе получения гидроксида алюминия уже становится понятно влияние кавитации на результат эксперимента.

Каолиновый концентрат состоит из каолинита, свободного диоксида кремния, ортоклаза и окислов примесных металлов. С раствором кислоты в условиях данного эксперимента взаимодействует только каолинит. Предварительная подготовка каолинового концентрата состоит в обжиге при температурах от 500 до 850°C с шагом 50 °C в муфельной печи. При этом происходит удаление внутрискристаллической воды из структуры каолинита по (1):



Он переходит в аморфное состояние. Полученный метакаолинит становится способным к взаимодействию с раствором кислоты при высокой температуре и давлении, которые в известных технологиях создают в специальных реакторных установках [9].

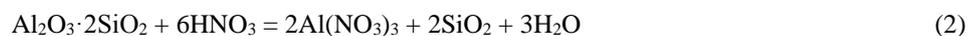
Согласно теории кавитации, вблизи схлопывающихся кавитационных пузырьков температура и давление достигают величин, предельных для данной жидкости. Поэтому во всем ее объеме и температура, и давление повышаются до уровня, необходимого для выполнения химического процесса взаимодействия метакаолинита с раствором кислоты.

Опыты выполнялись в лабораторной установке (см. рисунок 1) на базе ультразвукового аппарата мощностью 1 ВА с рабочей частотой 20 кГц. Принцип преобразования электрических колебаний в механические – пьезоэффект. Установка состоит из самого аппарата с водяным и воздушным охлаждением, рабочего столика с лифтовым подъемным механизмом, на котором устанавливается стакан с образцом, защитного кожуха с прозрачными стенками и вытяжки. Генератор ультразвуковых колебаний на фото не показан.



Рис. 1 – Основной узел кавитационной установки

Образец массой 20 г помещался в раствор кислоты с концентрацией от 3% до 40%, объемом 500, 800 и 1000 мл. Время обработки от 10 минут до полутора часов. В результате взаимодействия метакаолинита с кислотой происходит разрушение структуры метакаолинита и образование соединения алюминия с кислотным остатком по (2). Двуокись кремния с кислотой не взаимодействует. Остальные компоненты каолинового концентрата практически не участвуют в данной реакции.



Полученный раствор фильтруется от непрореагировавшего осадка. Осадок промывается дистиллированной водой до pH 6 – 6,5. Фильтрованный раствор и промывная вода упариваются до 300 – 350 мл.

Следующая операция – выделение гидроксида алюминия из раствора [10]:



В упаренный раствор при температуре от 60 до 80°C небольшими дозами наливается аммиачный раствор и медленно перемешивается. При определенной концентрации аммиака в растворе происходит образование сгустков белого аморфного вещества, которое, по мере увеличения концентрации аммиака, увеличивается и занимает практически весь объем жидкости. Обработка заканчивается при pH 6 – 6,5. Конечные операции эксперимента – промывка и сушка геля. В процессе сушки гель переходит в кристаллическое состояние. По количеству полученного вещества в процентах от стехиометрического содержания алюминия в каждой порции метакаолинита оценивается эффективность использованных приемов и параметров данного эксперимента.

Обсуждение результатов эксперимента

В экспериментах использовался каолиновый концентрат, где межкристаллитная вода составляет 12,42% [6], после обжига ее содержание практически равно нулю. В таблице 1 приведен состав концентрата до и после обжига.

Таблица 1 – Оксидный состав исходного и обожженного концентрата, %

Оксиды	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Loi()	Сумма	
Исходный концентрат	50,44	0,41	32,83	1,46	0,01	0,36	0,24	0,20	1,45	0,02	12,42	99,84	
Температура обжига	600°C	56,42	0,46	37,20	1,65	0,01	0,41	0,20	0,18	1,63	0,02	1,60	99,78
	700°C	55,75	0,48	38,46	1,69	0,01	0,42	0,26	0,19	1,66	0,03	0,79	99,74
	800°C	57,15	0,46	37,35	1,66	0,01	0,41	0,20	0,19	1,62	0,02	0,70	99,77

По сравнению с исходным в обожженных образцах соотношение между оксидами алюминия и кремния не изменилось. Рентгенограммы обожженного концентрата практически одинаковые (рисунок 2) и имеют вид, характерный для аморфного вещества – метакаолинита, за исключением пиков, принадлежащих свободному диоксиду кремния и ортоклазу, которые в данном температурном диапазоне остаются неизменными.

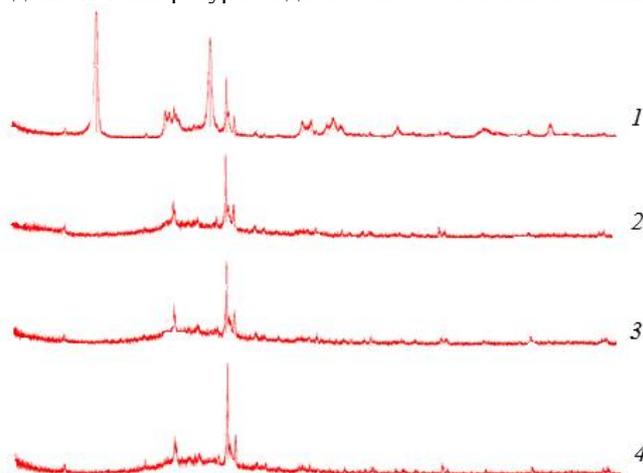


Рис. 2 – Рентгенограммы образцов:

1 – исходный каолин; каолин после обжига: 2 – при 600°C; 3 – при 700°C; 4 – при 800°C

В [10] для технологии реакторного разложения рекомендованы концентрации раствора кислоты 30 до 45%. В наших экспериментах использовались концентрации от 3 до 40% по основному веществу. Это значительно больше стехиометрической нормы. Перерасход кислоты связан с требованиями к работе кавитационного аппарата – он должен работать при определенном уровне жидкости.

Кавитационное разложение предварительно подготовленного каолинового концентрата, так же как и исходного [1], происходит не до конца – часть метакаолинита не разлагается. По нашим оценкам, это связано, в первую очередь, с недостаточной мощностью аппарата. А также с тем, очевидно, что в ходе кавитационного воздействия на исследуемое вещество, могут происходить и другие процессы, например, возникновение новых более стойких структур вследствие перекристаллизации. Они, полученные в небольших количествах, не дают характерных пиков при рентгенофазовом анализе. Косвенно подтверждает это предположение некоторое несовпадение на отдельных участках рентгенограммы 1 на рисунке 3 для непрореагировавшего осадка с рентгенограммами 2, 3, 4 на рисунке 2. Они все расшифрованы как смесь SiO<sub>2</sub> и аморфного вещества.

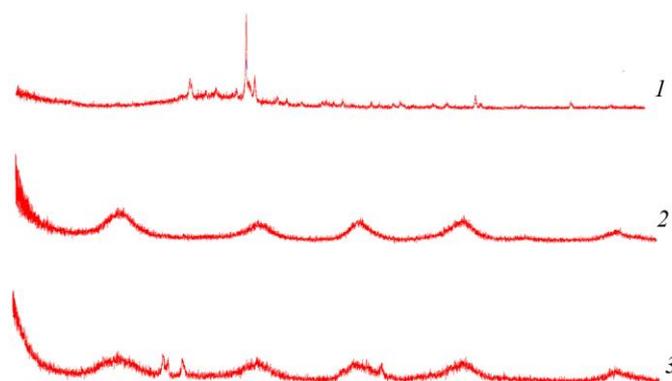


Рис. 3 – Рентгенограммы: 1 – непрореагировавшего осадка; высушенного геля; 2 – 27% раствор кислоты; 3 – 5% раствор кислоты

После высушивания (старения) гель, полученный в результате (3), имеет вид кристаллического вещества, которое при рентгенофазовом анализе расшифровывается как Al(OH)<sub>3</sub> (кривая 2 на рисунке 3) или смесь Al(OH)<sub>3</sub> с AlO(OH)

(кривая 3 на рисунке 3). Полученный порошок состоит как из кристаллической, так и из рентгеноаморфной форм в разных соотношениях. В таблице 2 приведено содержание этих веществ и непрореагировавшего осадка после кавитации.

Таблица 2 – Содержание основных оксидов к рисунку 3, %

Оксиды	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Loi()
кривая 1	67,37	22,11	5,43
кривая 2	3,83	67,46	24,34
кривая 3	5,32	61,63	28,97

На рисунке 4 приведен график выхода гидроксида алюминия в процентах от стехиометрии в зависимости от концентрации азотной кислоты в растворе при кавитации. Максимальный выход составил 91,44% при кислотности раствора 40%. При большей кислотности опыты не проводились, но можно предположить, что с дальнейшим повышением содержания кислоты кривая графика будет плавно стремиться к горизонтали, не достигая 100 %-ного результата.

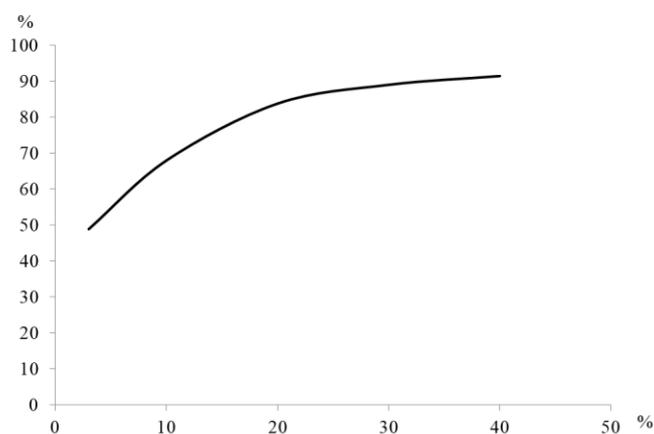


Рис. 4 – Выход гидроксида алюминия от кислотности раствора

Количество конечного продукта также зависит от температуры обжига и времени кавитационного воздействия. Максимальный выход получен для каолина, обожженного при 700°C, и длительности обработки 90 минут. Но за период от одного до полутора часов кавитации прирост готового продукта составил около 1%. Поэтому кавитационная обработка свыше одного часа не имеет практического значения в связи с неэффективными затратами времени и электроэнергии.

#### Заключение

По результатам настоящих исследований можно сделать следующее заключение – поставленная задача о разработке лабораторной технологии по разложению обожженного каолинового концентрата в азотнокислом растворе в условиях кавитации выполнена. Определены основные характеристики процесса, влияющие на результат. Получен выход гидроксида алюминия, близкий к результатам, получаемым в реакторных технологиях. Дальнейшие исследования в данном направлении будут связаны с поиском более выгодных сочетаний всех параметров процесса.

Конечным продуктом, получаемым в настоящих экспериментах, является гидроксид алюминия, из которого по известным технологиям может быть получен глинозем – источник сырья для алюминиевой промышленности. Но т.к. разработка данной технологии находится на начальном этапе и исследования проводятся с использованием маломощного оборудования, говорить о том, что данная технология может быть применима в промышленных масштабах для производства глинозема, пока рано.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Еранская Т.Ю. Влияние кавитации на обогащение каолинов / Т.Ю. Еранская, В.С. Римкевич // Химическая технология. 2012. – №5. – С. 291–296.
2. Еранская Т.Ю. Обогащение каолина кавитационным воздействием / Т.Ю. Еранская, В.С. Римкевич // Инновации в науке. Новосибирск: СибАК, 2013. – № 17. – С. 163–166.
3. Еранская Т.Ю. Физико-химические методы обогащения минерального сырья / Т.Ю. Еранская, Р.В. Белов. // Сборник докладов в 2-х томах. – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. 2014. – Т. 2. – С. 68–71.
4. Еранская Т.Ю. Электрохимический метод переработки каолинов / Т.Ю. Еранская // Инновационная наука. 2015. – №6. – С. 277–280.

5. Еранская Т.Ю. Электрохимический метод получения гидроксида алюминия из каолинов / Т.Ю. Еранская, В.С. Римкевич // Химическая технология. 2016. – Том 17. – № 1. – С. 7–13.
6. Eranskaya T.Yu. Electrochemical Production of Aluminum Hydroxide from Kaolins / T.Yu. Eranskaya, V.S. Rimkevich // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2016. – V. 50. – № 5. – P. 806–811.
7. Еранская Т.Ю. Влияние электроискрового разряда на разложение каолина в щелочной среде / Т.Ю. Еранская // Austria-science. 2017. – №2. – С. 4–9.
8. Еранская Т.Ю. Способ разложения каолина в щелочной среде / Т.Ю. Еранская // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. – № 10 (64). – Часть 3. – С. 41–45.
9. Логинова И.В. Производство глинозема и экономические расчеты в цветной металлургии. И.В. Логинова, А.А. Шопперт, Д.А. Рогожников, А.В. Кырчиков // Учебное пособие. – Екатеринбург: УМЦ УПИ. 2016. – 253 с.
10. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами. / Ю.А. Лайнер. – М.: Наука. 1982. – 208 с.

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

1. Eranskaya T.Yu. Vliyaniye kavitatsii na obogashcheniye kaolinov [Influence of Cavitation on Enrichment of Kaolin] / T.Yu. Yeranskaya, V.S. Rimkevich // Khimicheskaya tekhnologiya [Chemical technology]. 2012. – No.5. – P. 291–296. [In Russian]
2. Eranskaya T.Yu. Obogashcheniye kaolina kavitatsionnym vozdeystviyem [Kaolin Enrichment with Cavitation Effect] / T.Yu. Yeranskaya, V.S. Rimkevich // Innovatsii v nauke. Novosibirsk: SibAK [Innovations in Science. Novosibirsk: SibAK], 2013. – No. 17. – P. 163–166. [In Russian]
3. Yeranskaya T.Yu. Fiziko-khimicheskiye metody obogashcheniya mineral'nogo syr'ya [Physical and Chemical Methods of Enrichment of Mineral Raw Materials] / T.Yu. Yeranskaya, R.V. Belov. // Sbornik dokladov v 2-kh tomakh [Collection of papers in 2 volumes]. – Blagoveshchensk: IGP FEB RAS. 2014. – V. 2. – P. 68–71. [In Russian]
4. Eranskaya T.Yu. [Electrochemical Method of Kaolin Processing] / T.Yu. Eranskaya // Innovatsionnaya nauka [Innovation Science]. 2015. – No.6. – P. 277–280. [In Russian]
5. Eranskaya T.Yu. Elektrokhimicheskiy metod pererabotki kaolinov [Electrochemical Method of Obtaining Aluminum Hydroxide from Kaolin] / T.Yu. Yeranskaya, V.S. Rimkevich // Khimicheskaya tekhnologiya [Chemical technology]. 2016. – Vol. 17. – No. 1. – P. 7–13. [In Russian]
6. Eranskaya T.Yu. Electrochemical Production of Aluminum Hydroxide from Kaolins [Electrochemical Production of Aluminum Hydroxide from Kaolins] / T.Yu. Eranskaya, V.S. Rimkevich // Theoretical Foundations of Chemical Engineering [Theoretical Foundations of Chemical Engineering]. 2016. – V. 50. – No.5. – P. 806–811. [In Russian]
7. Eranskaya T.Yu. Vliyaniye elektroiskrovogo razryada na razlozheniye kaolina v shchelochnoy srede [Influence of Electric-spark Discharge on Kaolin Decomposition in Alkaline Medium] / T. Yu. Eranskaya // Austria-science. 2017. – No.2. – P. 4–9. [In Russian]
8. Eranskaya T.Yu. Sposob razlozheniya kaolina v shchelochnoy srede [Method of Kaolin Decomposition in Alkaline Medium] / T. Yu. Eranskaya // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Scientific Research Journal]. 2017. – No. 10 (64). – Part 3. – P. 41–45. [In Russian]
9. Loginova I.V. Proizvodstvo glinozema i ekonomicheskiye raschety v tsvetnoy metallurgii [Alumina Production and Economic Calculations in non-Ferrous Metallurgy] / I.V. Loginova, A.A. Schoppert, D.A. Rogozhnikov, A.V. Kyrchikov // Study Guide. – Yekaterinburg: UMT UPI. 2016. – 253 p. [In Russian]
10. Liner Yu.A. Kompleksnaya pererabotka alyuminiysoderzhashchego syr'ya kislotnymi sposobami [Complex Processing of Aluminum-Containing Raw Materials by Acid Methods] / Yu.A. Liner. – M.: Science. 1982. – 208 p. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.012>

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТОВ ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ

Научная статья

**Лебедев И.Ф. \***

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им.Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук (ИГДС СО РАН), Якутск, Россия

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

### Аннотация

В работе рассматриваются новые технологии воздушной сепарации, разработанные для переработки упорных руд и песков в районах с дефицитом водного ресурса (Монголия, Мексика, Африка, Россия). Основное преимущество сухой технологии заключается в том, что исключается необходимость затрат на капитальное строительство для поддержания водного хозяйства при отрицательных температурах, нет необходимости затрат на строительство и эксплуатацию рудовозной дороги, снимаются проблемы с организацией хвостохранилищ. На основе анализа существующих методов сухой переработки и обогащения полезных ископаемых, авторами разработан и изготовлен пневмосепаратор ПОС-2000.

**Ключевые слова:** пневмосепаратор, классификатор, сухая технология, обогащение, полезные ископаемые.

## MINERAL PROCESSING WITH THE USE OF AIR SEPARATION DEVICES

Research article

**Lebedev I.F. \***

Federal State Budgetary Institution of Science, Chersky Institute of Mining of the North, Branch of the Russian Academy of Sciences (CIMN SB RAS), Yakutsk, Russia

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

### Abstract

The paper discusses new air separation technologies developed for the processing of refractory ores and sands in areas with a shortage of water resources (Mongolia, Mexico, Africa, Russia). The main advantage of the dry technology is that it eliminates the need for capital construction to maintain water management at low temperatures, there is no need for the construction and operation of the ore carrying road, besides the problems with the tailing dump organization are removed. Based on the analysis of existing methods of dry processing and enrichment of minerals, the authors have developed and manufactured a pneumatic separator POS-2000.

**Keywords:** pneumatic separator, classifier, dry technology, enrichment, minerals.

Несмотря на то, что обогащение полезных ископаемых путем воздушной сепарации как метод используется уже несколько столетий, широкого распространения это метод так и не получил из-за невысокой степени извлечения, достигаемой в процессе воздушной сепарации. Тем не менее, новые технологии воздушной сепарации, разработанные для переработки упорных руд в засушливых районах, с успехом применяются на практике. Кроме того, такие технологии не наносят значительного вреда окружающей среде.

Более того, успехи, достигнутые при помощи перерабатывающей установки с производительностью 200 м<sup>3</sup>/час, которая была построена компанией Minera Secotec в золотоносном районе El Boludo в Мексике, подтверждают, что при помощи воздушной сепарации можно достичь высокой степени извлечения и производительности. При этом вода, которая в этих регионах крайне дефицитна, не используется. Кроме того, при использовании воздушной сепарации довольно просто организовать процесс рекультивации земель для последующего их использования [5, С. 29-31].

Установка состоит из двух секций, соединенных друг с другом. Основная секция сооружена на стальной раме длиной 15 м, шириной 8 м и высотой 9 м. Эта секция передвигается на трех парах самолетных колес, что обеспечивает полную устойчивость конструкции при ее движении. В состав всей конструкции, оснащенной 40 гидравлическими подъемниками, входят высокочастотный вибрационный грохот, два распределителя, направляющие материал во вращающиеся воздушные концентраты, и перечисленной концентратор. При этом все компоненты конструкции связаны между собой ленточными конвейерами. Вся установка и передняя секция загрузки приводятся в действие основным дизельным двигателем мощностью 300 кВт.

Вес всей установки составляет 200 т, а ее работа происходит в соответствии с автоматически заданным рабочим циклом («пуск-остановка»).

В целом, надо признать, фирма Minera Secotec сделала большой шаг в технологии сухого пневматического обогащения тяжелых минералов сухим пневматическим способом.

Основное преимущество сухой технологии заключается в том, что исключается необходимость затрат на капитальное строительство для поддержания водного хозяйства при отрицательных температурах, нет необходимости затрат на строительство и эксплуатацию рудовозной дороги, снимаются проблемы с организацией хвостохранилищ.

В Монголии при проведении крупнообъемного опробования месторождения золота используются пневматические аппараты Канадского и Китайского производства.

*Пневматический шлюз канадского производства.* Шлюз представляет собой крутонаклонный желоб с рифлями высотой 100 мм (см. рисунок 1). Ширина желоба 400 мм, длина – 750 мм. Днище желоба выполнено в виде трубы с квадратным сечением, в который вентилятором типа «улитка» подается воздух. Дно желоба под рифлями выстлано

тонкоячеистой сеткой. На желобе установлен бункер. Над днищем бункера установлен грохот с ромбовидными ячейками с размерами по ширине 50 мм.

Подача обломочного материала из бункера в желоб регулируется затвором. Вся эта система подвешена на пружинах. При подаче воздуха под воздействием вибрации шланга желоб вибрирует, а на дне желоба возникает псевдокипящий слой. Пелитовый и песчаный материал уносится воздухом, грубообломочный материал переполняет шлюзы и соскальзывает вниз, минералы высокой плотности скапливаются между шлюзами.

Производительность установки 0,35 т/ч или 0,2 м<sup>3</sup>/ч. При этом следует учесть, каждый раз обогащаемый материал прогоняется дважды. При первом цикле обработки в хвосты попадает 20 – 40% шлихового золота. После второго цикла обогащения золото в хвостах практически отсутствует. Сокращение в 200 – 400 раз. Питание воздуходувки от электрогенератора «Хонда» мощностью 1,5 кВт. Съем концентрата производится довольно быстро, так как желоб со шлюзами легко вынимается из корпуса воздуховода подобно крышке пенала.

Установка выполнена тонколистовой нержавеющей стали, быстро собирается и разбирается на составные части. В разобранном виде установка вместе с электрогенератором легко переносится с места на место.

К недостатку шлюза можно отнести быстрое изнашивание мелкоячеистой сетки на днище желоба. Во всем остальном установка полностью отвечает своему назначению.



Рис. 1 – Пневматический шлюз Канадского производства в работе

*Пневматический шлюз китайского производства.* Шлюз установлен горизонтально и висит на четырех проволочных подвесках с регулируемой, при помощи гаек. Шлюзы выполнены из стальных уголков с шириной полки 50 мм. Полки уголков со стороны хода обломочного материала приварены к днищу (см. рисунок 2). С другой стороны, между днищем желоба и полочкой уголка оставлена щель шириной 2 мм на всю длину уголка. Под уголками установлены коробчатые патрубки для подачи воздуха. Во время работы шлюз при помощи кулачкового механизма приводится в колебательное движение в горизонтальном направлении. Амплитуда колебаний 50 мм. Причем кулачковый механизм выполнен таким образом, что желоб в обратном направлении движется с большим ускорением, чем вперед, и, за счет этого, происходит движение грубообломочного материала вперед.

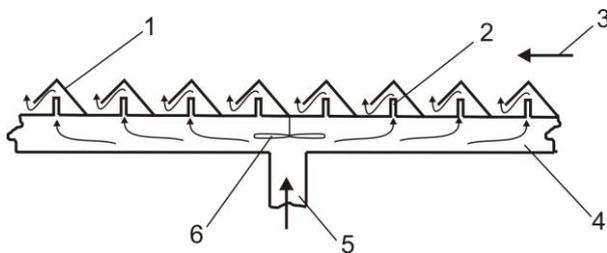


Рис. 2 – Пневматический шлюз Китайского производства:

1 – рифли; 2 – патрубки поддува воздуха; 3 – направление подачи материала; 4 – полый корпус распределителя воздушного потока; 5 – патрубков подачи основного воздуха; 6 – вентилятор распределения воздушного потока

Длина желоба 2 м, ширина – 0,6 м, производительность – 1 т/ч. Питание воздуходувки и привода колебательного механизма от дизельного электрогенератора мощностью 4 кВт. Исходный материал сокращается в сотни раз. Разгрузка концентрата производится путем снятия желоба с подвески и его опрокидывания. Желоб весьма массивен, так как выполнен из стальных листов и уголков толщиной 3 мм, и, поэтому, двое рабочих справляются с ним с большим трудом. Подача руды производится вручную.

К общим недостаткам рассмотренных пневматических шлюзов можно отнести невозможность создания установки с производительностью более 1 – 2 т/ч, так как увеличение размеров шлюза приведет к неуправляемости воздушного потока. На этих шлюзах невозможно сепарировать протоочки рудного материала. При отсутствии грубообломочного материала поток воздуха распределяется неравномерно, в одних местах шлюза воздух совсем не пробивается, а в других образует высокие пылевато-песчаные «гейзеры» с которыми уходит золото. Также, к общим недостаткам

можно отнести затрудненность организации отвода от рабочего места пылеватого материала. Вынос большого количества золота при первом цикле сепарации происходит из-за высокого содержания пелитового и мелкопесчаного материала. По этой причине распределение воздуха происходит неравномерно и в местах пробоя воздуха вместе с обломочным материалом уходит и золото.

В 2010 году ОДО «Ламел-777» разработало воздушные классификаторы предназначенные для разделения дисперсных материалов по крупности. Могут работать как автономно, так и в замкнутых контурах измельчения с мельницами различных конструкций. Воздушные классификаторы могут быть использованы для сепарации материалов по плотности или форме частиц. ОДО «Ламел-777» разработаны и изготавливаются:

- Многопродуктовые каскадно-гравитационные классификаторы КГК
- Многопродуктовые комбинированные классификаторы КМК
- Центробежные статические КЦС и динамические КЦД классификаторы.

Классификаторы КГК и КМК предназначены для разделения по крупности и сепарации дисперсных материалов в диапазоне граничной крупности от ~ 0,2 мм до нескольких миллиметров.

Комбинированные классификаторы КМК являются новым поколением воздушных многопродуктовых классификаторов, разработанных и запатентованных Предприятием, отличающихся более широким и независимым диапазоном регулировки крупности продуктов разделения, при более высоком качестве разделения.

Конструкции классификаторов КГК и КМК, разработанных Предприятием, отличаются многообразием по производительности от 0,1 до 100 т/ч, по величине граничных крупностей, по количеству продуктов Разделения (от 2-х до 4-х), так как адаптированы для решения различных технологических задач. К началу 2013 года ОДО «Ламел-777» поставило заказчикам более 20 классификаторов КГК и КМК в различные технологии и для различных материалов. Одно из основных направлений использования классификаторов КГК и КМК - переработка отсеков дробления с целью получения фракционированных заполнителей различного назначения, предобогащение и обогащение минерального сырья, переработка техногенных отходов.

Воздушно-центробежные классификаторы КЦС и КЦД предназначены для производства тонкодисперсных материалов и обеспыливания дисперсных материалов в диапазоне граничных крупностей от нескольких мкм до нескольких сотен мкм. Классификаторы предусматривают работу, как с механической, так и с загрузкой исходного материала в виде аэродисперсного потока. Большинство конструкций классификаторов КЦС и КЦД защищены патентами РБ и РФ. Производительность разработанных конструкций классификаторов КЦС и КЦД составляет от 0,1 до 40 т/ч. Предприятие готово разработать и изготовить классификаторы КЦД производительностью до нескольких сот тонн в 1 час. К началу 2013 года ОДО «Ламел-777» поставило заказчикам около 80 классификаторов, которые работают как автономно, так и в замкнутом цикле с различными мельницами [6, С.402-405,7].

В Институте горного дела Севера им.Н.В. Черского СО РАН разработан и изготовлен опытный вариант полупромышленного пневмосепаратора ПОС-2000 для обогащения золотосодержащих руд (см. рисунок 3).

Пневмосепаратор представляет собой конструкцию воздушно-проходного типа с системой отсекающих и направляющих пластинок, установленных в рабочей зоне сепарации, подвижной рабочей поверхностью для перемещения основной массы исходного материала [8, С. 346, 9-10].



Рис. 3 – Пневмосепаратор ПОС-2000 (а) общий вид и (б) пневмосепаратор в работе

Испытания оборудования показали, что максимальная производительность пневмосепаратора составляет 6,2 т/час. Обогащению подвергался тонко измельченный рудный материал крупностью -2 мм.

В результате опытно-промышленных испытаний установлена максимальная степень сокращения исходного материала до 16 раз. Выявлено, что степень сокращения исходного материала зависит от вещественного (минералогического) состава руды, доли содержания в ней минералов легкой и средней плотности до 4 г/см<sup>3</sup>, также производительность зависит от влажности исходного материала.

Извлечение составило 98%. Степень концентрации золота в концентрат по сравнению с качеством хвостов составило более 1000, что подтверждает высокую эффективность разделения по плотности в пневмосепараторе.

Для эффективной работы пневмосепаратора влажность не должна превышать 5-6%.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о высокой степени эффективности процесса воздушной сепарации, не уступающим традиционным способам «мокрого» обогащения.

В заключение следует отметить. Пневматическое обогащение тяжелых минералов в условиях пустынных и засушливых регионов, а также в регионах с продолжительным зимним сезоном, в особенности при эксплуатации небольших месторождений вполне реально и имеет большие перспективы.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список использованной литературы / References**

1. Тюкин А. П. Аэродинамическая сепарация и ударная классификация зернистых материалов / Тюкин А. П. // Обогащение руд. – 2011. - №5. - С.7-12.
2. Едильбаев А.И. Технология сухого обогащения ильменитовых руд Саптаевского месторождения. / Едильбаев А.И. // Горный журнал. – 2009. - № 6. – С. 70-71.
3. Валиев Н. Г. Технология сухого обогащения кварц-полевошпатовой руды / Н. Г. Валиев, А.А. Кутенев. // Горный журнал. – 2011. – № 2, с. 103–105.
4. Меринов Н.Ф. Особенности пневматических методов обогащения / Меринов Н.Ф. // Обогащение руд. – 2011. – № 4.
5. Благородные металлы и драгоценные камни мира. / Обзор промышленности по материалам зарубежной специализированной прессы. № 10.- 2000. С. 29-31.
6. Сборник материалов IX Конгресса обогатителей.– Москва.– 2013.– С.402-405.
7. Фогелев В.А. Возможности воздушной классификации и сепарации в процессах обогащения минерального сырья / Мельников А.В., Мельников Д.А. // Золото и технологии. – 2013. - № 1.
8. Пат. № 2167005 Российская Федерация, 7 В 07 В 7/08. Пневмосепаратор /Матвеев А И, Филиппов В.Е., Федоров Ф.М., Григорьев А.Н., Яковлев В.Б., Еремеева Н.Г.,Слепцова Е.С.Гладышев А.М., Винокуров В.П.: Заявл.11.06.99; опубл. 20.05.2001. // Изобретения. Полезные модели.– 2001.– №14.– Ч. 2.– С. 346.
9. Лебедев И.Ф. Технологические испытания пневмосепаратора ПОС-2000 в составе модульной передвижной рудообогатительной установки (МПРОУ) в условиях отрицательных температур / Лебедев И.Ф., Матвеев А.И., Филиппов В.Е. // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2012.–№10.– С.212.
10. Лебедев И.Ф. Результаты испытаний пневмосепаратора ПОС-2000 при отрицательных температурах // Проблемы горной науки: взгляд молодых ученых : сборник материалов конф. 7 февр. 2012 г., Якутск / Изд-во ФГБУНИМЗ им. П.И.Мельникова СО РАН. Якутск, 2013.– С.51-57.

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

1. Tyukin, A.P. Aerodinamicheskaya separatsiya i udarnaya klassifikatsiya zernistykh materialov [Aerodynamic Separation and Impact Classification of Granular Materials, Enrichment of Ores]. – 2011. – No.5. – P.7-12. [In Russian]
2. Edilbaev A.I. Tekhnologiya sukhogo obogashcheniya il'menitovykh rud Saptayevskogo mestorozhdeniya [Technology of Dry Enrichment of Ilmenite Ores from Saptayevskoye Field] // Gornyy zhurnal [Mining Journal] – 2009. – No. 6. – P. 70-71. [In Russian]
3. Valiev N. G. Tekhnologiya sukhogo obogashcheniya kvarts-polevoshpatovoy rudy [Technology of Dry Enrichment of Quartz-Feldspar Ore] / N. G. Valiev, A.A. Kutenev. // Gornyy zhurnal [Mining journal] – 2011. – No. 2, P. 103–105. [In Russian]
4. Merinov N.F. Osobennosti pnevmaticheskikh metodov obogashcheniya [Features of Pneumatic Enrichment Methods] // Obogashcheniye rud [Ore dressing]. – 2011. – No. 4. [In Russian]
5. Blagorodnyye metally i dragotsennyye kamni mira [Precious Metals and Precious Stones of the World] / Obzor promyshlennosti po materialam zarubezhnoy spetsializirovannoy pressy [Industry review on materials of foreign specialized press]. – No. 10. – 2000. – P. 29-31. [In Russian]
6. Sbornik materialov IX Kongressa obogatiteley [The Collection of Materials of the IX Congress of Enrichers]. – Moscow. – 2013. – P.402-405. [In Russian]
7. Fogelev V.A. Vozmozhnosti vozdushnoy klassifikatsii i separatsii v protsessakh obogashcheniya mineral'nogo syr'ya [Opportunities of Air Classification and Separation in Process of Enrichment of Mineral Raw Materials] / Melnikov A.V., Melnikov D.A. // [Gold and Technology]. – 2013. – No. 1. [In Russian]
8. Pat. № 2167005 Rossiyskaya Federatsiya, 7 V 07 V 7/08. Pnevмосепаратор [Patent No.2167005 Russian Federation, 7 W 07 W 7/08. Pneumoseparator] / Matveev A.I., Filippov V.E., Fedorov F.M., Grigoriev A.N., Yakovlev V.B., Eremeeva N.G., Sleptsova E.S., Gladyshev A.M., Vinokurov V.P.: Declared 11.06.99; publ. 20.05.2001. // Inventions. Utility models. – 2001. – No.14. – Ch. 2. – P. 346. [In Russian]
9. Lebedev I.F. Tekhnologicheskiye ispytaniya pnevmосепаратора POS-2000 v sostave modul'noy peredvizhnoy rudoobogatitel'noy ustanovki (MPROU) v usloviyakh otritsatel'nykh temperatur [Technological Tests of POS-2000 Pneumatic Separator as Part of Modular Mobile Ore-Dressing Plant (MPODP) under Negative Temperatures / Lebedev I.F., Matveyev A.I., Filippov, V.Ye. // Gorn. inform.-analit. byul [Min. Inform.-analyt. Bullet.] – 2012. – No.10. – P.212. [In Russian]
10. Lebedev I.F. Rezul'taty ispytaniy pnevmосепаратора POS-2000 pri otritsatel'nykh temperaturakh [The Test Results of the Pneumatic Separator POS-2000 at Negative Temperatures] // Problemy gornoy nauki: vzglyad molodykh uchenykh : sbornik materialov konf. [Problems of mining science: a view of young scientists: a collection of materials conf.] Feb 7 2012, Yakutsk / FGBUNIMZ publ. house named after P.I. Melnikov SB RAS. Yakutsk, 2013. – P .51-57. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.013>

**СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВОКРУГ ООО «ПАШКОВСКИЙ ХЛЕБОЗАВОД»**  
Научная статья

**Мамась Н.Н.<sup>1,\*</sup>, Гончаров В.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

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

**Аннотация**

Зерновая и мучная пыль является основным загрязняющим веществом, выделяющимся при производстве хлеба, его хранении и транспортировке. Мучная пыль оказывает негативное воздействие на состояние атмосферного воздуха, что приводит к климатическим изменениям, поскольку отражается солнечное излучение от поверхности Земли. Для изучения влияния ООО «Пашковский хлебозавод» на состояние окружающей среды, была разработана векторная система мониторинга. Одним из необходимых аспектов характеристики воздействия исследуемых объектов на компоненты окружающей среды и прилегающую территорию в целом, является инвентаризация древесной растительности. Современное состояние растительности можно оценить по инвентаризации древесной растительности на территории ООО «Пашковский хлебозавод» и в его санитарно-защитной зоне.

**Ключевые слова:** загрязняющие вещества, экосистема, опасные и бытовые отходы производства, инвентаризация древесной растительности.

**ENVIRONMENTAL STATE AROUND ООО “PASHKOVSKIY BREAD MAKING PLANT”**  
Research article

**Mamas N.N.<sup>1,\*</sup>, Goncharov V.G.<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

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

**Abstract**

Grain and flour dust are the main pollutants released during the production of bread, its storage, and transportation. Flour dust has a negative impact on the state of atmospheric air, which leads to climate change, as solar radiation is reflected from the surface of the Earth. A vector monitoring system was developed to study the influence of the ООО “Pashkovsky Bread Making Plant” on the state of the environment. The inventory of tree vegetation is one of the necessary aspects of the impact characteristics of the studied objects on the environment and the surrounding area as a whole. The current state of the vegetation can be estimated with the help of the tree vegetation inventory in the territory of ООО “Pashkovsky Bread Making Plant” and in its sanitary protection zone.

**Keywords:** pollutants, ecosystem, hazardous and household waste, inventory of tree vegetation.

**Введение**

Объектом исследования является ООО «Пашковский хлебозавод», расположенный по адресу: г. Краснодар, ул. Фадеева, 159. Основным видом деятельности ООО «Пашковский хлебозавод» является выпечка хлебобулочных и кондитерских изделий.

Функционирование экосистемы, при влиянии ООО «Пашковский хлебозавод» на состояние окружающей среды, проявляется в сравнении с фоновым значением.

Одной из основных составных частей агропромышленного комплекса Российской Федерации является хлебопекарная промышленность. Она складывается из более 1500 хлебозаводов и более 5000 пекарен малой мощности и ежегодно производит 20 млн. тонн продукции, из которой около 12,5 млн. тонн вырабатывается на крупных хлебозаводах.

Основным загрязняющим веществом, выделяющимся при производстве хлеба, его хранении и транспортировке, является зерновая и мучная пыль, имеющие также пожароопасные и взрывоопасные свойства [11].

Под воздействием мучной пыли могут возникнуть нарушения функций организма человека и заболевания различных органов и систем: органов дыхания (35,796 %), опорно-двигательного аппарата (27,2 %), вибрационная болезнь (21,2%), заболевания органов слуха (7,1 %), кожи (6,4 %), а также профессиональные отравления [6], [10].

**Обсуждение результатов**

Для изучения влияния ООО «Пашковский хлебозавод» на состояние окружающей среды, была разработана векторная система мониторинга.

Так как ООО «Пашковский хлебозавод» является точечным источником загрязнения, то в основе системы мониторинга лежит метод 3 векторного анализа. На каждой из 3 трансект, расположенных по направлению преобладающих ветров и уклона местности, были заложены площадки для отбора проб. Фоновая точка располагалась в северном направлении на расстоянии в 700 м от источника загрязнения в парковой зоне. По сторонам света трансекты ориентированы следующим образом: - юго-запад, по направлению преобладающего ветра;

- запад, по направлению преобладающего ветра; - юго-восток, жилой сектор, и по уклону местности.

Площадки отбора проб закладывались от источника загрязнения на расстоянии 10, 70 и 130 м от предприятия.

Инвентаризация зеленых насаждений осуществляется по методике, утвержденной Госстроем Российской Федерации и Правилами проведения инвентаризации зеленых насаждений и паспортизации озелененных территорий.

При инвентаризации изучался видовой состав растительности, и устанавливалась доля участия отдельных пород деревьев и кустарников в озеленении. Затем проводилась оценка состояния древесно-кустарниковых растений исходя из категорий, к которым они были отнесены при инвентаризации. Для определения категории используются следующие показатели: густота кроны, цвет листвы, наличие повреждений, сухих ветвей и некрозов. Градация лиственных пород проводилась по шести категориям (от 0 до 5).

На территории предприятия имеется 21 источник выбросов вредных веществ, из них 11 организованного типа и 10 неорганизованного типа. Всего на предприятии выбрасывается 5,7 т/год загрязняющих веществ, из которых 0,4 т – твердые вещества а, 5,3 т – газообразные.

Приоритетными веществами в выбросах предприятия являются: азота диоксид – удельный вес от валового выброса составляет 15 %, т.е. 0,50 т/год; серы диоксид (0,48 %, т.е. 0,02 т/год); углерод а оксид (74,2 %, т.е. 2,48 т/год); взвешенные вещества а (2,2 %, т.е. 0,074 т/год).

Источниками выделения загрязняющих веществ являются различные технологические этапы производства хлебоулучшающих и кондитерских изделий.

Отопление предприятия осуществляется котлами «У-3» и «У-6» и печами «ФТЛ-2», работающими на природном газе. При работе котлов и печей в атмосферу поступают диоксид азота, сернистый ангидрид, оксид углерода, бензапирен. При работе дефлекторов в атмосферу поступают диоксид азота, сернистый ангидрид, оксид углерода. Отопление магазина производится от котельной, работающей на природном газе, в атмосферу поступают диоксид азота, сернистый ангидрид, оксид углерода, бензапирен.

Стоянка собственного автотранспорта и специализированной техники осуществляется на необорудованной площадке. При выезде транспорта со стоянки в атмосферу поступают диоксид азота, сернистый ангидрид, углерода оксид, бензапирен, сажа, бензин.

При осуществлении производственной деятельности ООО «Пашковский хлебозавод» выбрасываются вещества преимущественно 3 класса опасности (40 %), 2 класса опасности, которые составляют 19,4 %, и всего по 3 % 1 и 4 классов опасности (бензапирен и пыль мучная соответственно).

Так как исследуемое предприятие относится к четвертому классу опасности, то минимальный размер санитарно-защитной зоны, предусмотренный СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 составляет – 100 м.

Так как изучаемое предприятие находится в жилом секторе, то уточнённая санитарно-защитная зона не соблюдается, в направлениях: с восток а (3 м), с северо-восток а (40 м), с северо-запада (64 м), с севера (35 м) и с юга (78 м).

Состояние травянистой растительности во многом зависит от степени загрязнения атмосферного воздуха. В зоне наибольшего загрязнения атмосферного воздуха растительность всегда более слабая и количество ее незначительно.

Наименьшая первичная продуктивность растительности характерна для тех точек, где наблюдается наиболее высокий уровень антропогенного воздействия на пролегающую территорию, а именно: загрязнение почвы и воздуха, осаждение некоторых веществ на листьях, уплотнение почвы и уничтожение растительности. Это точки № 3 (0,42 кг/м<sup>2</sup>), которая расположена на территории предприятия, № 4 (0,52 кг/м<sup>2</sup>) и № 7 (0,45 кг/м<sup>2</sup>), которые находятся в максимальной близости от предприятия. Растения здесь выглядят более слабыми и их количество меньше, чем в других точках отбора проб.

Наибольший показатель биопродуктивности растений наблюдается в точках № 1 (1,16 кг/м<sup>2</sup>), № 2 (0,81 кг/м<sup>2</sup>), № 9 (0,91 кг/м<sup>2</sup>), возможно вследствие того, что находятся они в противоположную сторону относительно преобладающего ветра, и поэтому данная местность является наиболее благоприятной для произрастания растительности, так как загрязняющие вещества сюда попадают в наименьшей степени.

Наименьшее количество экземпляров почвенной мезофауны встречено в точке № 3, которая расположена на территории предприятия, а также в точках № 4, 5, 7, 8, которые расположены по направлению преобладающих ветров. Это свидетельствует о том, что беспозвоночные чувствительны к вибрации, шумовому воздействию и пылевому загрязнению. Особи встречались в основном в местах, удалённых от дорог и наименее подверженных вытаптыванию (точки № 1, 6 и 9). На газонах максимальны обилие и встречаемость дождевых червей, а также отмечены максимальная общая численность и обилие в пробах муравьёв.

### **Заключение**

Таким образом на территории предприятия имеется 21 источник выбросов вредных веществ, из них 11 организованного типа и 10 неорганизованного типа. Всего на предприятии выбрасывается 5,7 т/год загрязняющих веществ, из которых 0,4 т – твердые вещества а, 5,3 т – газообразные, преимущественно 3 класса опасности (40 %).

Наименьшая первичная продуктивность растительности характерна для точек № 3 (0,42 кг/м<sup>2</sup>), которая расположена на территории предприятия, № 4 (0,52 кг/м<sup>2</sup>) и № 7 (0,45 кг/м<sup>2</sup>), которые находятся в максимальной близости от предприятия.

Наименьшее количество представителей почвенной мезофауны встречено в точке № 3, которая расположена на территории предприятия, а также в точках № 4, 5, 7, 8, которые расположены по направлению преобладающих ветров.

При осуществлении производственной деятельности ООО «Пашковский хлебозавод» образует 27,3 т производственных отходов, преимущественно V класса опасности (14,799 т/год).

Для улучшения экологической ситуации на ООО «Пашковский хлебозавод» рекомендуется провести дополнительное озеленение на территории предприятия, а для большего осаждения пыли на территории предприятия и, особенно, в местах разгрузки автомобилей рекомендуется проводить увлажнение территории. Наилучшими пионерными культурами являются бобовые и бобово-злаковые травосмеси, обладающие высокой фиторекультивационной способностью по сравнению с другими растениями – пырей ползучий, вейник наземный, клевер (ползучий и луговой), мятлик узколистный, овсяница луговая, лядвенец рогатый, донник (белый и желтый), а из других семейств - подорожник ланцетолистный, цикорий обыкновенный, полынь (обыкновенная и горькая) и др [8].

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

- 1 Алмазов Б.А. Хлеб наш насущный / Алмазов Б.А. – Л.: Лениздат. 1991. – 222 с.
- 2 Атлас Краснодарского края и республики Адыгея. Беларусь, Минск 1999. – 98 с.
- 3 Бутковский В.А. Мукомольное производство / Бутковский В.А.. М.: Колос, 1993. – 120 с.
- 4 Дроздов А.В. Продуктивность зональных наземных растительных сообществ и показатели водно-теплового режима территории // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности / Дроздов А.В.. – Л.: Наука, 1969. – С. 33-39.
- 5 Кучма В.Р. Окружающая среда и здоровье жителей города / В.Р. Кучма, С.Р. Гильденскиольд. – М. 1995 г. – 123 с.
- 6 Методы почвенно-зоологических исследований / М.С. Гилярова. – М.: Наука, 1975. – 280 с.
- 7 Никитин Д.П. Окружающая среда и человек / Д.П. Никитин – М. Высшая школа, 1989 г. – 424 с.
- 8 Парахуда Н.А. Актуальность проблемы рекультивации мест накопления промышленных отходов / Н.А.Парахуда, Н.Н. Мамась III Всерос. Науч.-пр. конф. «Охрана природной среды и эколого-биологическое образование» Елабуга, 2013.- С. 66-69
- 9 Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. – СПб.: НИИ охраны атмосферного воздуха, Интеграл, 2000 г. – 126 с.
- 10 Тильба Д.Н. Растительность Краснодарского края / Д.Н. Тильба. – Краснодар, 1989. – 150 с.
- 11 Химический состав пищевых продуктов / И.М. Скурихина. – М.: Агропромиздат, 1987. – т.1 – 224 с., т.2 – 246 с.
- 12 Цыганова Т.Б. Технология хлебопекарного производства / Цыганова Т.Б.. – М.: Академия, 2001. – 432 с.

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

- 1 Diamonds B.A. Hleb nash nasushchnyj [Our daily Bread] / Diamonds B.A -L: Lenizdat. 1991. - 222 p. [in Russian]
- 2 Atlas Krasnodarskogo kraja i respubliki Adygeya [Atlas of Krasnodar region and the Republic of Adygea]. Belarus, Minsk 1999. - 98 p. [in Russian]
- 3 Butkovsky V. A. Mukomol'noe proizvodstvo [Flour-Grinding production]. M.: Kolos, 1993. 120 p. [in Russian]
- 4 Drozdov A.V. Produktivnost' zonal'nyh nazemnyh rastitel'nyh soobshchestv i pokazateli vodno-teplovogo rezhima territorii [Productivity of zonal terrestrial plant communities and indicators of water-thermal regime of the territory] / Drozdov A.V.// General theoretical problems of biological productivity. - L.: Science, 1969. - P. 33-39. [in Russian]
- 5 Kuchma V. R. Kruzhayushchaya sreda i zdorov'e zhitelej goroda [Environment and health of residents] / V. R. Kuchma, S. R. Goldenseal. – M., 1995, 123 p. [in Russian]
- 6 Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovanij [Methods of soil-Zoological research] / ed. M. S. Gilyarov. - M.: Science, 1975. – 280 p. [in Russian]
- 7 Nikitin D. P. Okruzhayushchaya sreda i chelovek [Environment and man] / D. p. Nikitin-M. Higher school, 1989-424 p. [in Russian]
- 8 Parachute N.. Aktual'nost' problemy rekul'tivacii mest nakopleniya promyshlennyh othodov [The urgency of the problem of recultivation of places of accumulation of industrial waste] / N..Parachute, N. N. Mamas III vseros. Science.center for new information technologies. "Environmental protection and ecological and biological education" Elabuga, 2013.- P. 66-69. [in Russian]
- 9 Perechen' i kody veshchestv, zagryaznyayushchih atmosferyj vozduh [List and codes of substances polluting the air]. – SPb.: Research Institute of atmospheric air protection, Integral, 2000 – 126 C. [in Russian]
- 10 Tilba D. N. Rastitel'nost' Krasnodarskogo kraja [Vegetation of Krasnodar region] / D. N. Tilba. - Krasnodar, 1989. - 150 p. [in Russian]
- 11 Himicheskij sostav pishchevyh produktov [Chemical composition of food products]. Under the editorship of I. M. Skurikhina. - M.: Agropromizdat, 1987. T. 1. – 224 p., V. 2, 246 p. [in Russian]
- 12 Tsyganova T. B. Tekhnologiya hlebopekarnogo proizvodstva [The Technology of bread production] / Tsyganova T. B.. - Moscow: Academy, 2001. - 432 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.014>

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ОБРАБОТКАМИ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН ПОТОКООТКЛОНЯЮЩИМИ СОСТАВАМИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «Х»

Научная статья

Нанишвили О.А.<sup>1,\*</sup>, Пермин Д.Д.<sup>2</sup>, Самойлов В.Р.<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, Россия

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

### Аннотация

В настоящее время перед нефтяной отраслью стоит важная задача по добыче изначально неизвлекаемых запасов нефти. В данной статье рассматривается конкретный объект месторождения «Х», его литологические особенности; анализируется эффективность применения нестационарного заводнения (НЗ), а также НЗ в совокупности с технологией закачки потокоотклоняющих составов (ПОС) на отобранных участках в различные периоды эксплуатации. В заключении сделаны выводы по результатам опытно-промышленных испытаний и приведены рекомендации о целесообразности применения данного метода в дальнейшем для повышения конечного коэффициента извлечения нефти (КИН).

**Ключевые слова:** методы увеличения нефтеотдачи, нестационарное заводнение, потокоотклоняющие составы, обводненность, коэффициент извлечения нефти.

## EFFECTIVENESS ANALYSIS OF COMPLEX EFFECTS OF UNSTEADY WATER-FLOODING COMBINED WITH PROCESSING OF WATER INJECTION WELLS BY FLOW DIVERTING COMPOSITIONS AT THE “X” FIELD

Research article

Nanishvili O.A.<sup>1,\*</sup>, Permin D.D.<sup>2</sup>, Samoilov V.R.<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

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

### Abstract

For now, the oil industry is facing an important task of extracting initially non-recoverable oil reserves. This article discusses the specific object of the “X” deposit, its lithological features; analyzes the effectiveness of unsteady water-flooding (UWF), as well as UWF combined with the technology of injection of flow-diverting compositions (FDC) on selected sites in different periods of operation. The authors present their conclusions from the results of pilot tests and give their recommendations on the feasibility of using this method in the future to increase the final oil recovery ratio (ORR).

**Keywords:** enhanced oil recovery methods, unsteady waterflooding, flow-diverting compositions, water-cut, oil recovery factor.

Месторождение «Х» расположено в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Промышленная нефтеносность месторождения установлена практически по всему разрезу меловых и юрских отложений. [1]

К настоящему времени все высокопродуктивные запасы (85 залежей нефти из 154) уже введены в разработку.

Верхнеготерив-барремский нефтегазоносный комплекс объединяет отложения верхней части ванденской свиты и нижнюю часть алымской свиты. Основные продуктивные пласты комплекса – АВ<sub>1-3</sub>.

Пласт АВ<sub>3</sub> представлен песчаными коллекторами прибрежно-морского происхождения и повсеместно развит по площади.

Продуктивный пласт АВ<sub>1-2</sub> представлен толщей песчаников и глин мелководно-морского генезиса, в коллекторских разностях представлен по всей площади месторождения. [2]

Пласты группы АВ<sub>1-3</sub> характеризуются невыдержанностью эффективных толщин. Явно выраженной закономерности в распределении толщин по площади не наблюдается. Однако, в составе пласта АВ<sub>1-2</sub> одна зона повышенных значений эффективных толщин (более 20 м) почти в субширотном направлении пересекает центральную часть залежи. Пласт АВ<sub>3</sub> находится непосредственно под основным пластом месторождения АВ<sub>1-2</sub> и отделяется глинистыми разностями от него, а на отдаленных участках сливается с ним.

Эксплуатационный объект АВ<sub>1-3</sub> является одним из основных объектов разработки месторождения. Технологические показатели разработки объекта в значительной степени определяют динамику разработки месторождения в целом. В объект разработки объединены два пласта АВ<sub>1-2</sub> и АВ<sub>3</sub>. Площадь нефтеносности пласта АВ<sub>3</sub> существенно меньше площади нефтеносности пласта АВ<sub>1-2</sub>.

На долю объекта приходится 64 % геологических и 67 % извлекаемых запасов промышленных категорий, 49 % текущей и 74 % накопленной добычи нефти месторождения. Разработка объекта ведется с 1983 года. [1]

Объект АВ<sub>1-3</sub> характеризуется слоистой и зональной неоднородностью, и поэтому в процессе разработки остаются застойные тупиковые зоны и малодренлируемые участки, включение которых в работу возможно при проведении гидродинамических МУН.

Применение нестационарного воздействия (НЗ) на месторождении началось в 2007 году. Динамика применения в 2009-2015 годы приведена на рисунке 1.



Рис. 1 – Динамика применения методов нестационарного воздействия на пластах месторождения «Х» в 2009-2015 годах

Нестационарное заводнение, сочетающее циклическую закачку воды с изменением направления фильтрационных потоков, позволяет повысить коэффициенты вытеснения нефти по мощности пласта и охвата пласта заводнением [3], [4], [5].

По мере увеличения отборов извлекаемых запасов нефти и роста обводненности продукции отмечается снижение эффекта от проведения НЗ (2014 г.), также снижается количество скважинно-операций направленных на увеличение КИН путем изменения направления фильтрационных потоков и подключение в работу застойных, не дренируемых зон пласта.

По результатам расчёта технологической эффективности отмечается неоднозначность в дополнительной добыче нефти при воздействии на пласты НЗ, для объектов месторождения характерны как высокоэффективные, так и низкоэффективные результаты.

Максимальное количество мероприятий по НЗ проведено на объекте АВ<sub>1.3</sub> – 80 скв.-операций. Следует отметить, что на объекте АВ<sub>1.3</sub> при проведении НЗ сократилась добыча воды на 25,4 (2013 г.) и 39,5 (2014 г.) тыс. м<sup>3</sup>. Из этого следует, что на объекте АВ<sub>1.3</sub> в процессе проведения НЗ вовлекаются в разработку слабодренируемые запасы нефти.

На месторождении в 2013 и 2014 годах проводили комплексное воздействие НЗ в сочетании с адресными обработками нагнетательных скважин потокоотклоняющими составами (ПОС).

На поздних стадиях разработки месторождений из-за промывки пор высокопроницаемые участки становятся основными путями движения нагнетаемой воды к добывающим скважинам. Поэтому основная цель применения потокоотклоняющих составов в текущий момент – это стабилизация или снижение темпов роста обводненности добываемой продукции. [6], [7], [8].

В 2013 году на первом участке НЗ в нагнетательные скважины проводились закачки гелеобразующего состава ГОС-1(АС) за 2 месяца до начала реализации НЗ, на втором участке НЗ в нагнетательные скважины проводились обработки ГОС за 5 месяца до начала реализации НЗ. На третьем участке НЗ в нагнетательные скважины закачка ГОС за 3 месяца до начала реализации НЗ и в одной скважине после проведения НЗ. Схема распределения участков НЗ и адресных обработок потокоотклоняющими составами по годам приведена на рисунке 2.

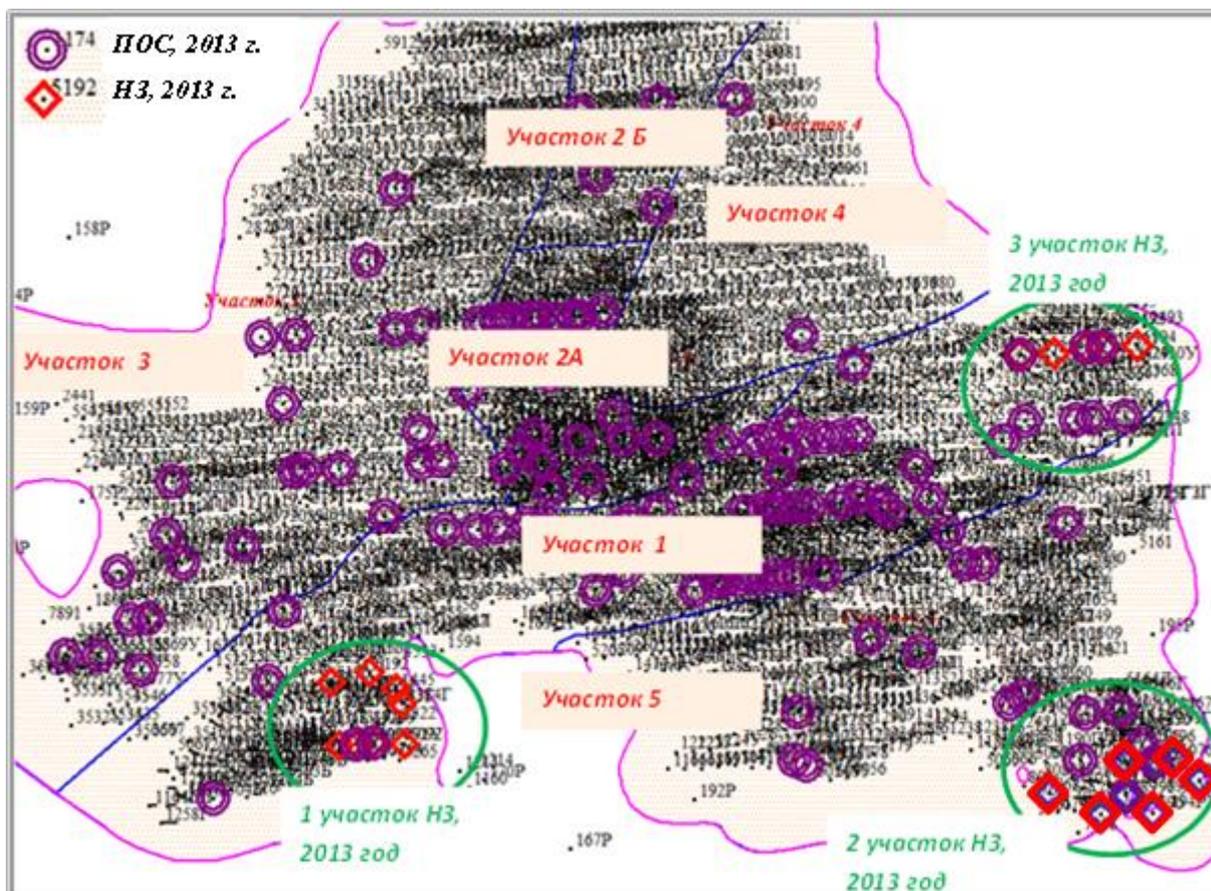


Рис. 2 – Схема расположения участков реализации НЗ и адресных обработок потокоотклоняющими составами (ПОС) в 2013 году, объект АВ<sub>1-3</sub>

В 2014 году на первом участке НЗ в нагнетательные скважины проводились закачки потокоотклоняющего состава за 3 месяца до начала реализации НЗ (см. рисунок 3).

Приемистость низкопроницаемых интервалов уменьшается сильнее, чем высокопроницаемых. При пониженном давлении закачки (на десятки атмосфер ниже устьевого давления при нагнетании в пласт жидкости) низкопроницаемые (нефтенасыщенные) пропластки перестают принимать закачиваемую воду. Для того, чтобы закачиваемая биополимерная композиция попала преимущественно в промытую водонасыщенную зону, закачка композиции в пласт производится при давлении на 5-10 атмосфер ниже давления в линии ППД [9].

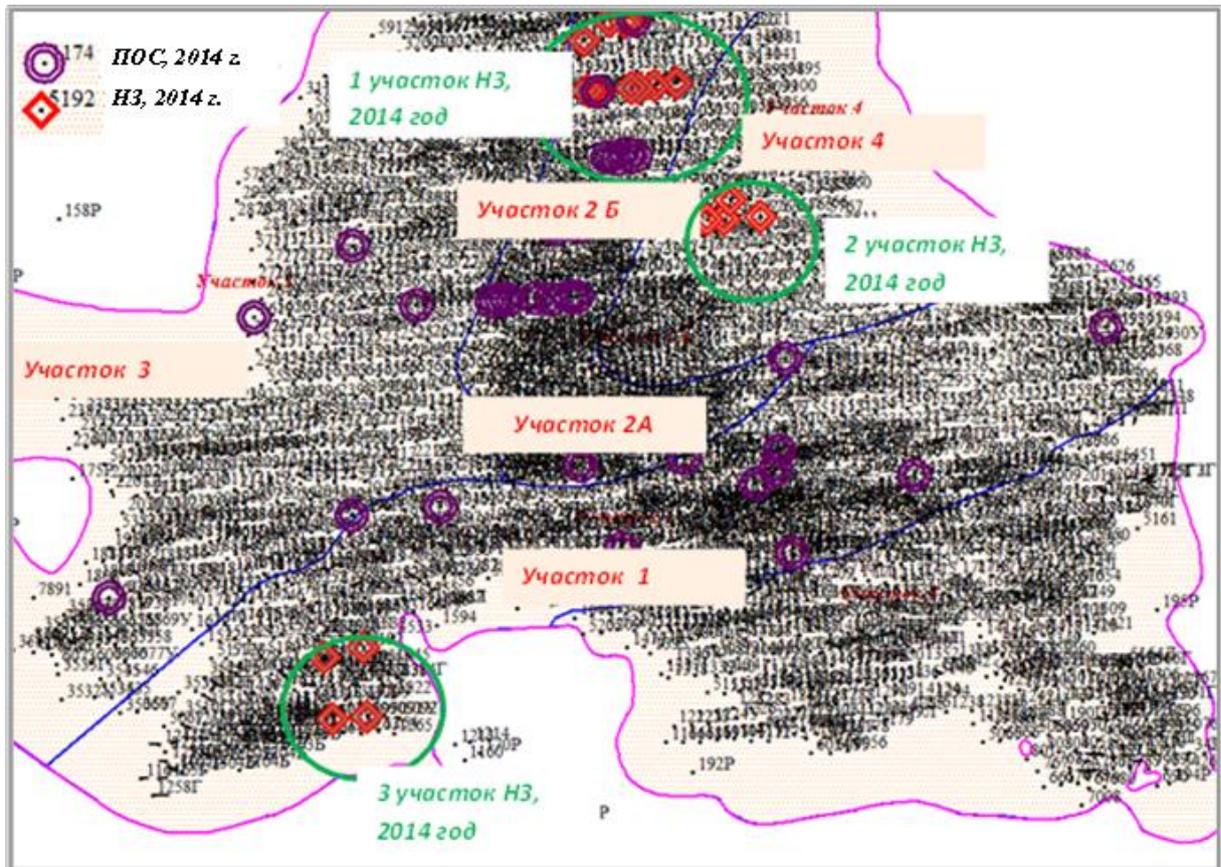


Рис. 3 – Схема расположения участков реализации НЗ и адресных обработок ПОС в 2014 году, объект АВ<sub>1-3</sub>

Снижение обводненности и рост показателей работы скважин (дебит нефти) по реагирующим скважинам на участке комплексного воздействия, начался именно после окончания реализации НЗ.

В период проведения НЗ в сочетании с адресными обработками скважин потокоотклоняющими составами, отмечается тенденция к снижению обводненности в 96 % добывающих скважинах. Обработка нагнетательных скважин потокоотклоняющими составами положительно отражается на работе окружающих добывающих и позволяет снизить и стабилизировать обводненность продукции (см. рисунок 4).

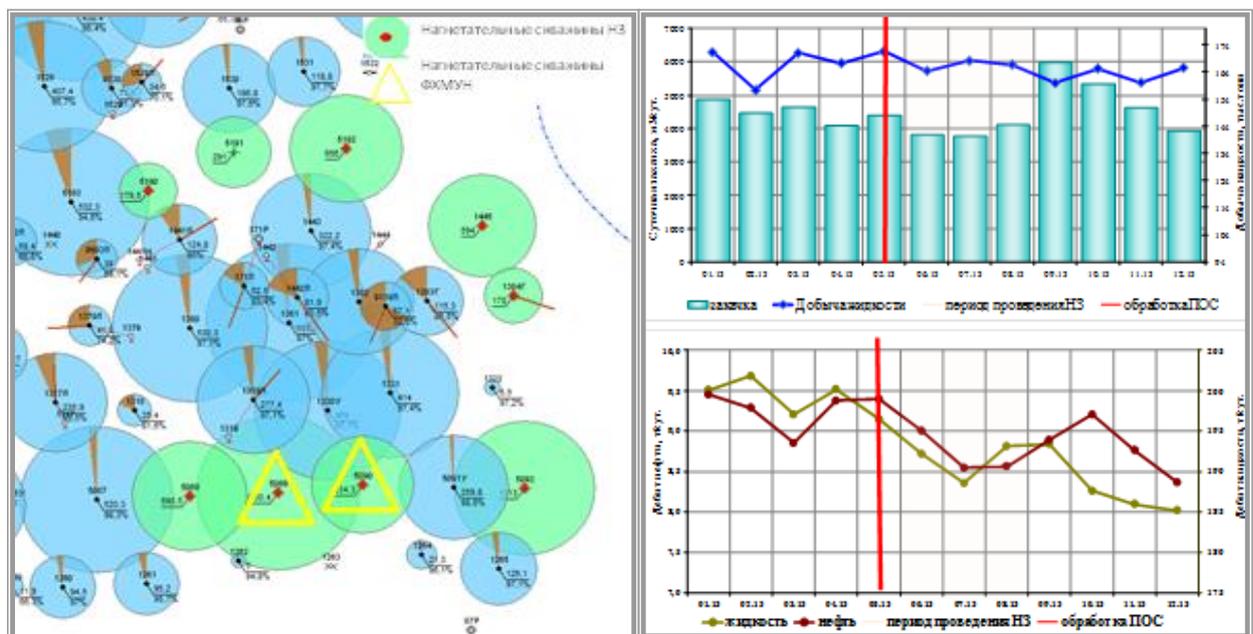


Рис. 4 – Динамика показателей работы добывающих скважин в период проведения нестационарного заводнения и ПОС на первом участке НЗ месторождения «Х», объект АВ<sub>1-3</sub>

Дополнительная добыча нефти за счет обработки нагнетательных скважин ПОС на участках НЗ составила 15,4 тыс. т в 2013 году и 1,7 тыс. т в 2014 году. За счет проведения НЗ – 6,6 тыс. т в 2013 г. и 0,24 тыс. т в 2014 г.

Анализ показал, что при проведении адресных обработок нагнетательных скважин ГОС за 3-6 месяцев до начала НЗ, в период проведения НЗ происходит снижение обводненности, а увеличение дебитов нефти происходит в период после проведения НЗ (см. рисунок 5).

Низкая эффективность отмечается при проведении мероприятий, направленных на целенаправленное тампонирующее потокоотклоняющими составами высокопроницаемых и обводнённых пропластков, в период остановок нагнетательных скважин по программе НЗ, так как невозможно поддерживать давление на уровне, исключающем образование техногенной трещиноватости. Смена фильтрационных потоков вызывает знакопеременные, по величине и направлению действия, нагрузки на сформировавшийся в пористой среде гель. Это, в свою очередь, приводит к разупрочнению структурных связей между кластерами молекул геля, снижению адгезионных сил сцепления геля с горной породой, к значительным сдвигам деформациям тела геля. [10]

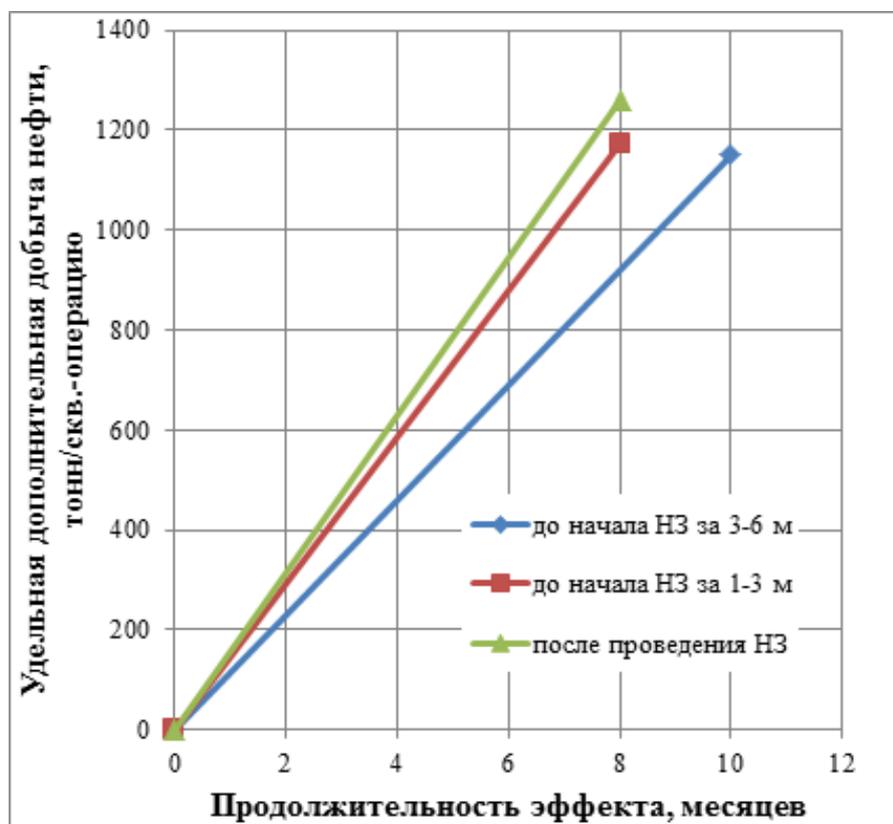


Рис. 5 – Зависимость продолжительности эффекта и дополнительной добычи нефти от времени проведения адресных обработок нагнетательных скважин ГЭС на участках НЗ

Высокие показатели разработки нефтяных месторождений и конечный КИН можно получить только при эффективном регулировании процесса фильтрации. Регулирование с помощью ПОС обеспечивается перераспределением фильтрационных потоков внутри пласта. Такое воздействие приводит к вовлечению в процесс вытеснения «застойных» зон, не охваченных процессом фильтрации. К положительным результатам проведения мероприятий относятся также существенное сокращение объема закачиваемой и попутно-добываемой воды. [9]

Исходя из вышеизложенного, в целях регулирования процесса фильтрации и вовлечения ранее недренируемых зон пласта, в дальнейшем необходимо проводить мероприятия по обработке скважин нагнетательного фонда потокоотклоняющими составами для повышения уровня добычи нефти и, соответственно, конечного КИН.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа» / Ред. Э.А. Ахпателов, В.А. Волков, В.Н. Гончарова. – Екатеринбург: ИздатНаукаСервис, 2004. – 148 с.
2. Гавура В.Е. Геология и разработка нефтяных и газонефтяных месторождений / В.Е. Гавура. - М.: ВНИИОЭНГ, 1995. - 496 с.
3. Апасов Т.К. Методы интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи для месторождений Западной Сибири: учебное пособие / Т.К. Апасов, Р.Т. Апасов, Г.Т. Апасов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 187с.
4. Рузин Л.М. Методы повышения нефтеотдачи пластов (теория и практика): учебное пособие / Л.М. Рузин, О.А. Морозюк. - Ухта: УГТУ, 2014. - 127с.
5. Ильина Г.Ф. Методы и технологии повышения нефтеотдачи для коллекторов Западной Сибири: учебное пособие / Г.Ф. Ильина, Л.К. Алтунина. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006.-166с.
6. Лушанков С.С. Эффективность применения физико-химических методов увеличения нефтеотдачи при разработке месторождений Сургутского района [Электронныйресурс] / С.С. Лушанков // European Student Scientific Journal. - 2018. - № 3 - URL: <http://sjes.esrae.ru/ru/article/view?id=430> (дата обращения: 26.03.2019)
7. Лысенко В.Д. Инновационная разработка нефтяных месторождений / В.Д. Лысенко. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. - 516с.

8. Казаков А.Л. Прогноз обводнения и нефтеотдачи пластов на поздней стадии разработки / А.Л. Казаков, В.С. Орлов. - М.: ВНИИОЭНГ, 2007. - 51с.
9. РД 39-3-507-80. Руководство по выравниванию фронта нагнетаемой воды и регулированию выработки пластов за счет применения циклического заводнения и перемены направления фильтрационных потоков. - Введ. 1981-11-06. - Главтюменнефтегаз, 1980. - 22с.
10. Алтунина Л.К., Кувшинов В.А.. Применение термотропных гелей для повышения нефтеотдачи // Нефтеотдача, 2002, № 5 с. 28-35.

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

1. Geologiya i neftegazonosnost' Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga [Atlas "Geology and Oil and Gas Potential of the Khanty-Mansiysk Autonomous Region] / Ed. by E.A. Akhpatelov, V.A. Volkov, V.N. Goncharova. – Ekaterinburg: IzdatNaukaService, 2004. – 148 p. [In Russian]
2. Gavura V.E. Geologiya i razrabotka neftyanykh i gazonefitynykh mestorozhdeniy [Geology and Development of Oil and Gas and Oil Fields] / V.E. Gavura. – М.: ВНИИОЭНГ, 1995. – 496 p. [In Russian]
3. Apasov T.K. Metody intensivatsii dobychi nefti i povysheniya nefteotdachi dlya mestorozhdeniy Zapadnoy Sibiri: uchebnoye posobiye [Oil Production Intensification Methods and Enhanced Oil Recovery for Fields in Western Siberia: Study Guide] / T.K. Apasov, R.T. Apasov, G.T. Apasov. – Tyumen: Tsogu, 2015. – 187 p. [In Russian]
4. Ruzin L.M. Metody povysheniya nefteotdachi plastov (teoriya i praktika): uchebnoye posobiye [Enhanced Oil Recovery Methods (Theory and Practice): Study Guide] / L.M. Ruzin, O.A. Morozyuk. – Ukhta: USTU, 2014. – 127 p. [In Russian]
5. Ilyina G.F. Metody i tekhnologii povysheniya nefteotdachi dlya kollektorov Zapadnoy Sibiri: uchebnoye posobiye [Enhanced Oil Recovery Methods and Technologies for Collectors of Western Siberia: a Tutorial] / G.F. Ilyina, L.K. Altunina. – Tomsk: TPU publishing house, 2006. – 166 p. [In Russian]
6. Lushankov S.S. Effektivnost' primeneniya fiziko-khimicheskikh metodov uvelicheniya nefteotdachi pri razrabotke mestorozhdeniy Surgutskogo rayona [Efficiency of Physico-chemical Methods Application in Increasing Oil Recovery in the Development of Fields in the Surgut District [Electronic resource] / S.S. Lushankov // European Student Scientific Journal [European Student Scientific Journal]. – 2018. – No. 3 – URL: <http://sjes.esrae.ru/en/article/view?id=430> (accessed: 26.03.2019) [In Russian]
7. Lysenko V.D. Innovatsionnaya razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy [Innovative Development of Oil Fields] / V.D. Lysenko. – М.: LLC Nedra-Business Center, 2000. – 516 p. [In Russian]
8. Kazakov A.L. Prognoz obvodneniya i nefteotdachi plastov na pozdney stadii razrabotki [Forecasting of Watering and oil Recovery at the Late Stage of Development] / A.L. Kazakov, B.C. Orlov. – М.: ВНИИОЭНГ, 2007. – 51 p. [In Russian]
9. RD 39-3-507-80. Rukovodstvo po vyravnivaniyu fronta nagnetayemoy vody i regulirovaniyu vyrabotki plastov za schet primeneniya tsiklicheskogo zavodneniya i peremeny napravleniya fil'tratsionnykh potokov [Guidance on Alignment of the Front of Injection Water and the Regulation of Reservoir Generation through the Use of Cyclic Flooding and Changing the Direction of Filtration Flows] – Introd. 1981-11-06. – Glavtyumenneftegaz, 1980. – 22 p. [In Russian]
10. Altunina, L.K., Kuvshinov, V.A. Primneniye termotropnykh geley dlya povysheniya nefteotdachi [Use of Thermotropic Gels for Enhanced Oil Recovery], Nefteotdacha, 2002, – No. 5, – p. 28-35. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.015>**ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ ГЕНОТИПОВ ВИРУСА ПАПИЛЛОМЫ ЧЕЛОВЕКА ОНКОГЕННОГО РИСКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕТРОСПЕКТИВНОГО И ПРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗОВ ПО г.БАКУ**

Научная статья

**Гаджиева К.А. \***

ORCID: 0000-0002-3750-5200,

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

\* Корреспондирующий автор (konul6[at]mail.ru)

**Аннотация**

Целью данного исследования явилось выявление частоты встречаемости онкогенных типов вируса папилломы человека (ВПЧ) у больных раком шейки матки (РШМ) и в здоровой популяции г.Баку, а также определение взаимосвязи между частотой выявления этих генотипов с клинической формой течения ВПЧ. Был проведен ретроспективный (210 пациенток) и проспективный (206 пациенток) анализы. Из исследования были исключены женщины в остром периоде сопутствующих заболеваний и беременные. Материалом для исследования служили образцы эпителиальных соскобов с цервикального канала и шейки матки, взятые у всех женщин. В ходе ретроспективного анализа для выявления взаимосвязи между частотой онкогенных типов ВПЧ у больных РШМ и клинической формой течения ВПЧ, 210 больных были распределены по двум группам. В первую группу вошли пациентки с манифестной формой ВПЧ (20,0±2,5%), во вторую группу вошли пациентки с субклинической и латентной формой ВПЧ (80,0±2,6%). Было выявлено, что у больных РШМ достоверно чаще встречается генотип ВПЧ-16 как в виде отдельного генотипа, так и в сочетании с другими генотипами среднего и высокого онкогенного риска. В ходе проспективного исследования, проведенного среди здоровой популяции женщин, было выявлено, что частота выявления ВПЧ в здоровой популяции установлена как 8,7%. Отмечен и высокий уровень риска генитальной ВПЧ-инфекции (тип 16 и тип 18).

**Ключевые слова:** вирус папилломы человека (ВПЧ), рак шейки матки, генотипы онкогенного риска, частота генотипов ВПЧ

**DEGREE OF INCIDENCE OF HUMAN PAPILLOMA VIRUS GENOTYPES OF ONCOGENOUS RISK BY THE RESULTS OF RETROSPECTIVE AND PROSPECTIVE ANALYSIS IN THE CITY OF BAKU**

Research article

**Gadzhieva K.A. \***

ORCID: 0000-0002-3750-5200,

Baku State University, Baku, Azerbaijan

\* Corresponding author (konul6[at]mail.ru)

**Abstract**

The main goal of this study is to identify the degree of incidence of oncogenic types of human papillomavirus (HPV) in patients with cervical cancer (CC) and healthy population of Baku, as well as to determine the relationship between the frequency of detection of these genotypes with the clinical form of HPV. Retrospective (210 patients) and prospective (206 patients) analysis were performed. Women in the acute period of associated diseases and pregnant were excluded from this study. The samples of epithelial scrapings from the cervical canal and cervix were taken from all women were the material for the study. In order to identify the relationship between the frequency of oncogenic HPV types in patients with cervical cancer and the clinical form of the course of HPV 210 patients were divided into two groups for retrospective analysis. The first group included patients with manifest HPV (20.0 ± 2.5%), the second group included patients with subclinical and latent HPV (80.0 ± 2.6%). It was found that in patients with CC, the genotype of HPV-16 is significantly more common, both as a separate genotype and in combination with other genotypes of medium and high oncogenic risk. A prospective study conducted among a healthy population of women revealed that the incidence of HPV in a healthy population was set at 8.7%. There is also a high risk of genital HPV infection (type 16 and type 18).

**Keywords:** human papillomavirus (HPV), cervical cancer, oncogenic risk genotypes, the frequency of HPV genotypes.

**Введение**

На основе многочисленных эпидемиологических и экспериментальных данных можно утверждать, что развитие рака шейки матки обусловлено вирусной инфекцией, передаваемой половым путем [1], [2], [3]. В течение жизни этим вирусом инфицируется до 75% населения, живущих сексуальной жизнью, что подтверждается и эпидемиологическими исследованиями, проводимыми как в Азербайджанской Республике, так и за ее пределами [4], [5]. Отмечается и взаимосвязь между частотой распространения ВПЧ и географическим регионом проживания пациентов [6], [7], [8]. Различные авторы указывают, что частота встречаемости генотипов высокого риска, в том числе генотипов 16, 18, 31, 33 и 45 типов при цервикальных интраэпителиальных неоплазиях достигает 95% [9]. В генитальном тракте наиболее часто персистируются генотипы ВПЧ-16 и ВПЧ-18, относящиеся к онкогенным типам высокого риска, а в случае инвазивного рака этот показатель может достигать 71-91% [10], [11]. Общая суммарная доля вышеуказанных генотипов ВПЧ составляет 45-50% от общего числа генитальных ВПЧ. Вероятно, причиной

таких высоких показателей является тот факт, что процесс интеграции ВПЧ 16, 18 и 45 типов в геном клетки-хозяина происходит достоверно чаще по сравнению с другими генотипами [12].

Следует отметить и существование вирус-негативного рака шейки матки, при котором ВПЧ не выявляются. По этому поводу мнения исследователей разделяются. Некоторые авторы связывают его выявление с артефактами исследования [13], другие же исследователи считают, что вирус-негативный рак имеет иной механизм развития, нежели вирус-ассоциированный рак [14].

Проведение генетических методов диагностики генитальной ВПЧ-инфекции будет способствовать высокоэффективным профилактическим мероприятиям по предотвращению распространенности данной патологии среди женщин.

Целью данного исследования явилось выявление частоты встречаемости онкогенных типов ВПЧ у больных РШМ и в здоровой популяции г.Баку, а также определение взаимосвязи между частотой выявления этих генотипов с клинической формой течения ВПЧ.

#### Методы и принципы исследования

Исследование проводилось в два этапа (ретроспективный и проспективный анализы). В ходе ретроспективного исследования были изучены истории болезней женщин с подтвержденным диагнозом рака шейки матки, обратившихся в Онкологическую Клинику Азербайджанского медицинского университета за период 2008-2012 годы. Были проанализированы «карты выкопировки», созданные на основе амбулаторных карт 210 пациенток в возрасте 18-65 лет. Из исследования были исключены женщины в остром периоде сопутствующих заболеваний и беременные. В проспективное исследование были включены 206 женщин аналогичного возраста. Выборка была проведена произвольно из здоровой женской популяции г.Баку. Материалом для исследования служили образцы эпителиальных соскобов с цервикального канала и шейки матки, взятые у всех женщин. Выделение ДНК ВПЧ проводилось с помощью коммерческих наборов «ДНК-сорб-АМ» (Россия). Полимеразная цепная реакция проводилась с использованием коммерческих ПЦР-тестовых систем (АмплиСенс) по общепринятой методике с электрофоретической детекцией и в режиме реального времени.

Для амплификации были использованы наборы синтезированных праймеров фирмы «Invitrogen» (США):

-MY09 (5'-CGTCCAGGAAGTGC-3')

-MY11(5'-CCAGGGCATAAAATGG-3')

Данные праймеры были использованы для амплификации ДНК-сегментов длиной 452 пар нуклеотидов в структуре гена L1, выявленном в геноме ВПЧ.

Статистическая обработка результатов была проведена при помощи пакета прикладных программ, разработанных для биомедицины «Statistica 9.0».

#### Основные результаты

Для выявления взаимосвязи между частотой онкогенных типов ВПЧ у больных РШМ и клинической формой течения ВПЧ, 210 больных были распределены по двум группам. В первую группу вошли пациентки с манифестной формой ВПЧ (42 женщины – 20,0±2,5%), во вторую группу вошли пациентки с субклинической и латентной формой ВПЧ (168 женщин – 80,0±2,6%).

Результаты наших лабораторных исследований показали, что из общего количества пациенток на долю пациенток с ВПЧ-16 приходилось 50,9±3,2% (118 больных) (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение генотипов ВПЧ среднего и высокого онкогенного риска по результатам ретроспективного исследования

Генотип ВПЧ	Общее количество пациентов (n=210)	I группа	II группа
		(n=42)	(n=168)
16	118 (50,9±3,2%*)	11 (26,2±4,8%*)	99 (58,9±3,7%*)
18	27 (12,9±2,2%)	8 (19,0±5,4%)	19 (11,3±2,3%)
31	51 (24,3±2,8%)	29 (69,0±7,4%*)	21 (12,5±2,4%)
33	28 (13,3±2,4%)	17 (40,5±7,3%)	9 (5,4%)
35	15 (7,1%)	5 (11,9±4,6%*)	10 (6,0%)
39	25 (11,9±4,5%)	16 (38,1±7,1%)	7 (4,2%)
45	26 (12,4±2,2%)	21 (50,0±7,5%)	3 (1,8%)
51	28 (13,3±2,3%)	22 (52,4±7,1%*)	6 (3,6%)
52	37 (17,6±2,6%)	23 (54,8±6,7%)	9 (5,4%)
56	29 (13,8±2,2%)	24 (57,1±7,6%)	6 (3,6%)
58	17 (8,1%)	7 (16,7±6,0%)	8 (4,8%)
59	12 (5,7%)	6 (14,3±4,6%)	5 (3,0%)

Примечание: \* -  $p < 0,05$ .

Как видно из данной таблицы, распределение частоты данного онкогенного типа ВПЧ высокого риска по исследуемым группам было нижеследующим образом: I группа – 11 пациенток (26,2±4,8%), II группа – 99 пациенток (58,9±3,7%). Статистически достоверно в I группе также встречались и генотипы ВПЧ-31 (29 пациенток (69,0±7,4%), ВПЧ-35 (5 пациенток (11,9±4,6%)) и ВПЧ-35 (22 пациенток (52,4±7,1%)) типов. Следует отметить, что во II группе статистически достоверно отмечался ВПЧ-16 (99 пациенток (58,9±3,7%)),  $p < 0,001$ . Результаты ретроспективного анализа показали, что в I группе генотипы ВПЧ-51 (22 пациентки – 52,4±7,1%; в 3,7 раза), ВПЧ-52 (23 пациентки – 54,8±6,7%; в 2,6 раза), ВПЧ-56 (24 пациентки – 57,1±7,6%; в 4 раза) типов по отношению ко II группе, встречались в

несколько раз достоверно чаще ( $p < 0,001$ ).

Как в группе с манифестной формой ВПЧ (I группа), так и в группе с субклинической и латентной формой ВПЧ, встречались пациентки с двумя и более генотипами ВПЧ (рис. 1).

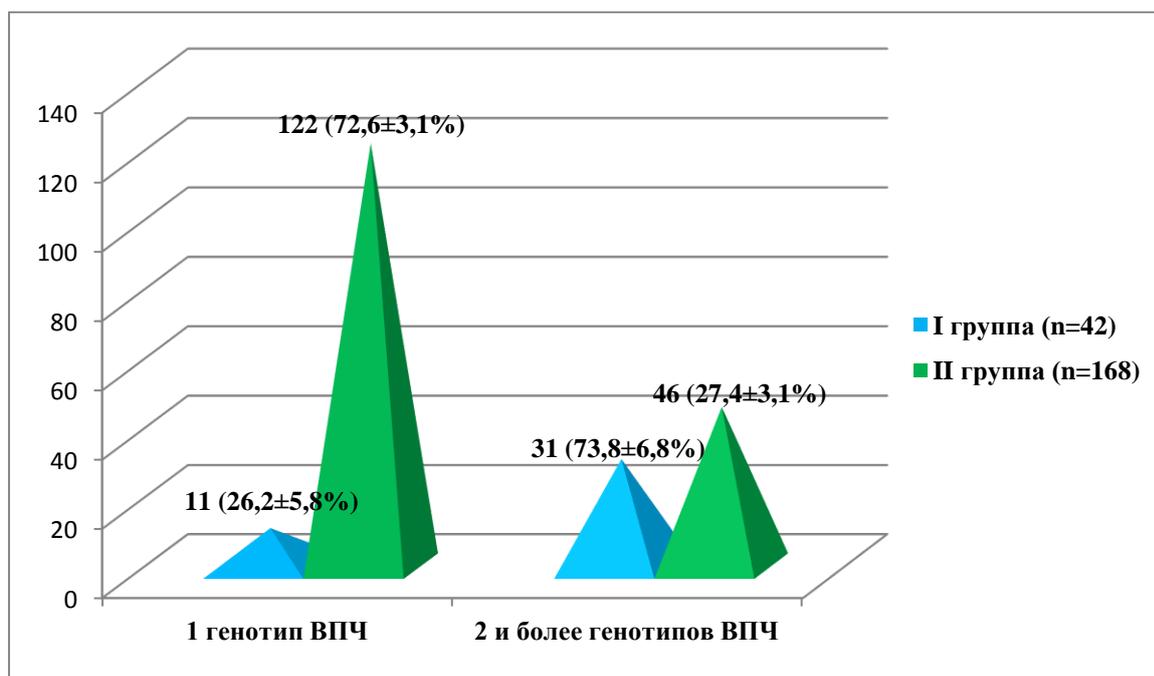


Рис. 1 – Частота встречаемости одного и более генотипов у исследованных пациентов

Следует отметить, что при анализе частоты встречаемости одного или более генотипов у исследуемых больных, в случае выявления одного генотипа достоверно чаще отмечался генотип ВПЧ 16 типа, причем при сравнении групп во II группе он встречался в 1,9 раза, чем в I группе ( $29,4 \pm 5,3\%$  против  $15,5 \pm 4,7\%$ ).

При ретроспективном анализе были выявлены пациентки, у которых одновременно встречались 2, 3, 4 и 5 генотипов ВПЧ высокого онкогенного риска. Следует отметить, что 2 генотипа ВПЧ в I группе отмечались в  $31,0 \pm 7,5\%$  случаев (13 пациенток), а во II группе –  $69,0\% \pm 4,1$  случаев (16 пациенток), причем разница была статистически достоверна. В остальных случаях статистически достоверной разницы выявлено не было.

Таким образом, выявлено, что у больных РШК достоверно чаще встречается генотип ВПЧ-16 как в виде отдельного генотипа, так и в сочетании с другими генотипами среднего и высокого онкогенного риска.

В ходе проспективного исследования, проведенного среди 206 здоровых женщин, было выявлено, что у 18 ( $8,7 \pm 3,3\%$ ) женщин из общего количества больных тест на наличие ВПЧ был положительным. Распределение генотипов у 18 женщин с выявленной ВПЧ было следующим образом: у 4-х больных ( $22,2 \pm 2,4\%$ ) был выявлен ВПЧ 50 типа, у 4-х ( $22,2 \pm 2,4\%$ ) – ВПЧ 16 типа, у 4-х ( $22,2 \pm 2,4\%$ ) – ВПЧ 18 типа и у 2-х женщин ( $11,1 \pm 5,7\%$ ) – ВПЧ 6 типа. У 2-х женщин ( $11,1 \pm 5,7\%$ ) был выявлен ВПЧ 16, 45, 50, 6 типов одновременно, а у еще 2-х женщин ( $11,1 \pm 5,7\%$ ) – ВПЧ 30, 50, 6 типов одновременно.

Все типы выявленных генотипов ВПЧ были распределены по группам риска: низкий уровень риска (типы 6, 11, 40, 42), средний уровень риска (26, 33, 35, 39, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59), высокий уровень риска (16, 18, 31, 45, 51).

Таким образом, частота выявления ВПЧ в здоровой популяции установлена как  $8,7\%$ . Высокий уровень риска генитальной ВПЧ-инфекции (тип 16 и тип 18) в общей сложности был выявлен у 10 ( $55,5 \pm 4,6\%$ ) пациентов.

#### Заключение

Следовательно, можно утверждать, что как среди больных РШМ, так и среди здоровой популяции наиболее часто встречается онкогенный тип высокого риска развития РШМ – генотип ВПЧ-16 как в отдельности, так и в сочетании с другими генотипами ВПЧ.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Bosch F. X. The causal relation between human papillomavirus and cervical cancer / Bosch F. X., Lorincz A., Munoz N. and others // J. Clin. Pathol. – 2002. – Vol. 55. – P. 244-265.
2. Smith J. S. Human papilloma virus type distribution in invasive cervical cancer and high grade cervical lesions / Smith J. S., Lindsay L., Hoots B. and others A meta-analysis update / Smith J. S. et al. // Int. J. Cancer. – 2007 (Epub).
3. Trottier H. Human papillomavirus and cervical cancer: burden of illness and basis for prevention / Trottier H., Franco E.L. // Am. J. Manag. Care. – 2006. – Vol. 12. – P. 462-472.
4. Алиев Д. А. Эпидемиологические аспекты злокачественных новообразований в Азербайджанской Республике за 2008-2013 г / Алиев Д. А. Марданлы Ф. А и др. // Azərbaycan Onkologiya Jurnalı. – 2014. – №2. – С.32-38.
5. Ault K. A. Epidemiology and natural history of human papillomavirus infections in the female genital tract / Ault K. A. // Infect. Dis. Obstet. Gynecol. – 2006. – Vol. 2006 (Suppl). P. 404-470.

6. Datta S. D. Human papillomavirus infection and cervical cytology in women screened for cervical cancer in the United States, 2003-2005 / Datta S. D., Koutsky L. A., Ratelle S. // *Ann. Intern. Med.* – 2008. – Vol. 148. – P.493-500.
7. Renaud O. Human papillomavirus infection of the cervix uteri in women attending a Health Examination Center of the French social security / Renaud O., Bouguermouh S., Venne M. D. and others // *J. Med. Virol.* – 2004. – Vol.73. – P.262-268.
8. Muñoz N. Instituto Nacional de Cancerologia HPV Study Group. Incidence, duration and determinants of cervical human papillomavirus infection in a cohort of Colombian women with normal cytological results / Muñoz N., Méndez F., Posso H. and others // *J. Infect. Dis.* – 2004. – Vol. 190(12). – P. 2077-2087.
9. Ho G. Y. Natural history of cervicovaginal papillomavirus infection in young women / Ho G. Y., Bierman R., Beardsley L. and others // *N. Engl. J. Med.* 1998. – V. 338 (7). – P. 423-428.
10. Золотоверхая Е. А. Распространенность онкогенных типов вируса папилломы человека у женщин с патологией шейки / Золотоверхая Е. А., Шипицына Е. В., Юшманова Е. С. и др. // *Материалы Международной научно-практической конференции «Профилактика рака шейки матки: взгляд в будущее»*. – Москва. – 2008. – С. 50-51.
11. Коломиец Л. А. Особенности распространения различных типов вируса папилломы человека (ВПЧ) у пациенток с цервикальными неоплазиями и раком шейки матки в г.Томске / Коломиец Л. А., Чуруксаева О. Н., Шпилева О. В. и др. // *Сибирский онкологический журнал*. – 2012. – №3 (51). – с. 41-45.
12. Vinokurova S. Type dependent integration frequency of human papillomavirus genomes in cervical lesions / Vinokurova S., Wentzensen N., Kraus I. and others // *Cancer Res.* – 2008. – V. 68 (1). – P. 307-313.
13. Bohmer G. No confirmed case of human papillomavirus DNA-negative cervical intraepithelial neoplasia grade 3 or invasive primary cancer of the uterine cervix among 511 patients / Bohmer G., Adriaan J. C. van den Brule and others // *Am. J. Obstet. Gynecol.* – 2003. – Vol. 189. – P.118-120.
14. Harima Y. Human papilloma virus (HPV) DNA associated with prognosis of cervical cancer after radiotherapy / Harima Y., Satoshi S., Kenji N. and others / Harima Y. et al. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* – 2002. – V. 52. – P. 1345-1351.

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

1. Bosch F. X. The causal relation between human papillomavirus and cervical cancer / Bosch F. X., Lorincz A., Munoz N. and others // *J. Clin. Pathol.* – 2002. – Vol. 55. – P. 244-265.
2. Smith J. S. Human papilloma virus type distribution in invasive cervical cancer and high grade cervical lesions / Smith J. S., Lindsay L., Hoots B. and others A meta-analysis update / Smith J. S. et al. // *Int. J. Cancer.* – 2007 (Epub).
3. Trottier H. Human papillomavirus and cervical cancer: burden of illness and basis for prevention / Trottier H., Franco E.L. / Trottier H. et al. // *Am. J. Manag. Care.* – 2006. – Vol. 12. – P. 462-472.
4. Aliyev J. A., Mardanli F. A. Epidemiologicheskie aspekti zlokachestvennyh novoobrazovaniy v Azerbaydzhanskoj Respublike za 2008-2013 g [Epidemiological aspects of malignant neoplasms in the Republic of Azerbaijan for 2008-2013]. / Aliyev J. A., Mardanli F. A. and others // *Azerbaijan Onkologiya Jurnalı [Azerbaijan Oncology Journal]*. 2014. – №2. – P.32-38. [in Russian].
5. Ault K. A. Epidemiology and natural history of human papillomavirus infections in the female genital tract / Ault K. A. // *Infect. Dis. Obstet. Gynecol.* – 2006. – Vol. 2006 (Suppl). P. 404-470.
6. Datta S. D. Human papillomavirus infection and cervical cytology in women screened for cervical cancer in the United States, 2003-2005 / Datta S. D., Koutsky L. A., Ratelle S. // *Ann. Intern. Med.* – 2008. – Vol. 148. – P.493-500.
7. Renaud O. Human papillomavirus infection of the cervix uteri in women attending a Health Examination Center of the French social security / Renaud O., Bouguermouh S., Venne M. D. and others // *J. Med. Virol.* – 2004. – Vol.73. – P.262-268.
8. Muñoz N. Instituto Nacional de Cancerologia HPV Study Group. Incidence, duration and determinants of cervical human papillomavirus infection in a cohort of Colombian women with normal cytological results / Muñoz N., Méndez F., Posso H. and others // *J. Infect. Dis.* – 2004. – Vol. 190(12). – P. 2077-2087.
9. Ho G. Y. Natural history of cervicovaginal papillomavirus infection in young women / Ho G. Y., Bierman R., Beardsley L. and others // *N. Engl. J. Med.* 1998. – V. 338 (7). – P. 423-428.
10. Zolotoverhaya Y. A. Rasprostranennost onkogennyh tipov virusa papillomy cheloveka u jenshin s patologiyey sheyki [The prevalence of oncogenic types of human papillomavirus in women with cervical pathology]. / Zolotoverhaya Y. A., Shipisina Y.B., Yushmanova Y.S. and others // *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Profilaktika raka sheyki matki: vzglyad v buduscheye"* [Materials of the International Scientific and Practical Conference "Prevention of cervical cancer: a look into the future"]. – Moscow. – 2008. – P. 50-51. [in Russian]
11. Kolomiyets L.A. Osobennosti rasprostraneniya razlichnyh tipov virusa papillomy cheloveka (VPCH) u pasienyotok s servikalnymi neoplaziyami i rakom sheyki matki v g. Tomske [Features of the spread of various types of human papillomavirus (HPV) in patients with cervical neoplasias and cervical cancer in Tomsk] / Kolomiyets L.A., Churuksayeva O.N., Shpilyova O.V. and others // *Sibirskiy Onkologicheskij Jurnal [Siberian Oncology Journal]*. – 2012. – №3 (51). – с. 41-45 [2012, №3 (51), pp. 41-45. [in Russian]
12. Vinokurova S. Type dependent integration frequency of human papillomavirus genomes in cervical lesions / Vinokurova S., Wentzensen N., Kraus I. and others // *Cancer Res.* – 2008. – V. 68 (1). – P. 307-313
13. Bohmer G. No confirmed case of human papillomavirus DNA-negative cervical intraepithelial neoplasia grade 3 or invasive primary cancer of the uterine cervix among 511 patients / Bohmer G., Adriaan J. C. van den Brule and others // *Am. J. Obstet. Gynecol.* – 2003. – Vol. 189. – P.118-120
14. Harima Y. Human papilloma virus (HPV) DNA associated with prognosis of cervical cancer after radiotherapy / Harima Y., Satoshi S., Kenji N. and others / Harima Y. et al. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* – 2002. – V. 52. – P. 1345-1351.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.016>**БИОЦЕНОЗЫ НЕКОТОРЫХ ЧЕРНОМОРСКИХ РЕК**

Научная статья

**Карнаухов Г.И. \***

ORCID: 0000-0003-4038-1699,

Краснодарское отделение ФГБНУ «Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства»,  
Краснодар, Россия

\* Корреспондирующий автор (gik23[at]mail.ru)

**Аннотация**

Впервые по результатам изучения основных групп гидробионтов (фитопланктон, зоопланктон, зообентос, рыбы) проведено комплексное описание и анализ качественных и количественных характеристик зооценозов семи малых рек Черноморского побережья Кавказа. Исследование ихтиофауны представляет как научный фаунистический интерес, так и несёт практическое значение в изучении и сохранении биологического разнообразия в условиях мощного антропогенного воздействия.

**Ключевые слова:** черноморское побережье, малые реки, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, ихтиофауна, массовые виды.

**BIOCENOSSES OF SOME BLACK SEA RIVERS**

Research article

**Karnaukhov G.I. \***

ORCID: 0000-0003-4038-1699,

Krasnodar Branch of the FSBSI "Azov Research and Development Institute of Fisheries," Krasnodar, Russia

\* Correspondent author (gik23[at]mail.ru)

**Abstract**

A comprehensive description and analysis of the qualitative and quantitative characteristics of the zoonoses of seven small rivers of the Black Sea coast of the Caucasus were carried out for the first time based on the results of studying the main groups of hydrobionts (phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, and fish). The study of ichthyofauna is of both scientific faunistic interest and has practical significance in the study and preservation of biological diversity under the conditions of powerful anthropogenic impact.

**Keywords:** Black Sea coast, small rivers, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, ichthyofauna, mass species.

Целью работы являлось изучение структуры сообществ фитопланктона, зоопланктона и зообентоса, а также популяций рыб в 7 малых реках Черноморского побережья Краснодарского края. Исследование ихтиофауны малых рек представляет как научный фаунистический интерес, так и несёт практическое значение в изучении и сохранении биологического разнообразия в условиях антропогенного воздействия.

В основном исследования биоценозов проводились на достаточно крупных реках [1, С. 148], [2, С. 106], [3, С. 250], [4, С. 139]. По небольшим водотокам имеются лишь спорадические данные [5, С. 206], [6, С. 67]. Основная масса малых рек и ручьёв вообще выпала из поля интересов исследователей.

Малые реки и ручьи являются составной частью гидрографической сети Черноморского побережья. Эти водотоки испытывают на себе увеличивающееся антропогенное воздействие, которое связано с загрязнением коммунально-бытовыми сточными водами. Такое негативное воздействие на малые реки может привести к их деградации и утрате сложившегося биоценоза.

Гидрографические характеристики рек, в которых проводились исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Гидрографическая характеристика

Показатель	Название реки						
	Глубокая щель	Якорная щель	Детляжка	Лоо	Церковное Лоо	Киет	Западный Дагомыс
Исток, высота над уровнем моря, м	402	400	380	682	232	265	723
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	0,95	1,5	0,25	36,6	0,42	0,63	48,0
Протяженность реки, км	14	15	5	15	8	12	21
Русло*	УИ	УИ	УИ	УИ	УИ	СИ	СИ
Грунты**	ПГС	ПГС	ПГ	ПГС	ПГ	ПГ	ГС

Примечание: \* УИ- умеренно извилистое, СИ – сильно, \*\* ПГ – песчано-гравийный, Г – гравийный, С- выход скальных пород

Ихтиологический материал собирали и обрабатывали по методикам И.Ф. Правдина [7, С. 376]. Учёт рыбы проводился мальковой волокушей из безузловой дели с шагом ячеи 3,5 мм, а также ихтиопланктонной конусной сетью ИКС-80 с диаметром кольца 1,0 м.

Отбор проб, количественный и качественный анализы зоопланктона проводили согласно методике [9, С. 240]. Изучение состава, количественного развития донных организмов проводили путём сбора зообентоса методом соскоба [10, С. 39].

Планктонные сообщества и зообентос в обследованных водотоках были однотипными с незначительными колебаниями в видовом составе, но с общими закономерностями и показателями доминирования отдельных групп организмов.

*Фитопланктон* в реках весьма беден в видовом отношении. Фитопланктон в качественном отношении представлен незначительным количеством водорослей из пяти таксономических групп: зелёные (*Chlorophyta*), диатомовые (*Bacillariohyta*), сине-зелёные (*Cyanobacteria*), эвгленовые (*Euglenozoa*), динофитовые (*Dinoflagellata*). Численно доминируют диатомовые, зелёные и динофитовые водоросли. Причём, наибольшей численности и биомассы во все сезоны года достигают холодолюбивые формы диатомовых водорослей.

Средние биомассы фитопланктона по водотокам были следующие: р. Глубокая щель - 0,009 г/м<sup>3</sup>; р. Якорная щель - 0,01 г/м<sup>3</sup>; р. Детляжка - 0,007 г/м<sup>3</sup>; р. Лоо - 0,012 г/м<sup>3</sup>; р. Церковное Лоо - 0,008 г/м<sup>3</sup>; р. Киет - 0,008 г/м<sup>3</sup>; р. Западный Дагомыс - 0,006 г/м<sup>3</sup>.

*Зоопланктон* представлен облигатно-планктическими формами, весь активный период жизненного цикла которых проходит в толще воды, а также временными компонентами, присутствие которых особенно существенно в быстротекущих горных реках.

Зоопланктонные организмы также не получают хорошего развития в обследованных реках в силу малой продукции фитопланктона. Зоопланктон представлен следующими организмами: коловратки (*Rotifera*), копеподы (*Copepoda*), дрейф. Собственно планктон включает незначительное количество коловраток (*Rotifera*), которые представлены одним видом – *Notholca* sp., и веслоногих (*Copepoda*), также с одним видом *Cyclops* sp. с его ювенильными стадиями (*Nauplii* и *Copepodit*). Ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*) в планктоне отсутствовали.

Состав временных компонентов (дрейф) был гораздо шире: личинки хирономид, поленок, веснянок, ручейников, пресноводных клещей. В зоопланктоне реки численно доминируют коловратки, веслоногие рачки и прочие организмы.

Средние биомассы зоопланктона незначительно отличались по водотокам: р. Глубокая щель и р. Якорная щель - 0,012 г/м<sup>3</sup>; р. Детляжка и р. Киет - 0,006 г/м<sup>3</sup>; р. Лоо - 0,018 г/м<sup>3</sup>; р. Церковное Лоо - 0,005 г/м<sup>3</sup>; р. Западный Дагомыс - 0,003 г/м<sup>3</sup>.

*Зообентос* представлен животными-реофилами, обитающими на песчано-галечных грунтах, в зонах быстрого течения. Численность и биомасса формируется в основном представителями амфибиотических насекомых, находящихся на личиночных и предимагинальных стадиях развития. Бентос реки был представлен 5 таксономическими группами, включающими плоских, круглых, кольчатых червей, моллюсков и членистоногих. Его состав был представлен следующими родами: *Amphipoda*, *Caenis*, *Cheumatopsyche*, *Coleoptera*, *Decapoda*, *Diptera*, *Drusus*, *Hydroptila*, *Ecdyonurus*, *Ephemeroptera*, *Turbellaria*, *Nematoda*, *Hydropsyche*, *Oligochaeta*, *Hydrocarina*, *Odonoptera*, *Plecoptera*, *Plectrocnemia*, *Psychomyia* и др..

Ракообразные представлены незначительным количеством особей из рода *Gammarus*.

Средние биомассы донных организмов отличались по водотокам: р. Глубокая щель - 0,009 г/м<sup>2</sup>; р. Якорная щель - 0,01 г/м<sup>2</sup>; р. Детляжка - 0,007 г/м<sup>2</sup>; р. Лоо - 0,012 г/м<sup>2</sup>; р. Церковное Лоо - 0,008 г/м<sup>2</sup>; р. Киет - 0,008 г/м<sup>2</sup>; р. Западный Дагомыс - 0,006 г/м<sup>2</sup>.

Необходимо отметить, что для структуры зообентосных сообществ р. Глубокая щель характерно доминирование по количеству двукрылых, по биомассе - ручейников.

Ихтиофауна более-менее крупных реках черноморского побережья Краснодарского края от р. Псеуапсе до р. Сочи представлена 11 видами: ручьевая форель (*Salmo trutta trutta*), малый рыбец (*Vimba vimba tenella*), колхидский усач (*Barbus tauricus escherichii*), колхидский голянь (*Phoxinus phoxinus colchicus*), пескарь (*Gobio gobio lepidolaemus patio caucasicus*), южная быстрянка (*Alburnoides bipunctatus fasciatus*), речной бычок Родиона (*Neogobius rhodioni*), кавказский голавль (*Leuciscus cephalus orientalis*), колхидский подуст (*Chondrostoma colchicum*), батумская шемая черноморская (батумская) шемая (*Chalcalburnus chalcoides derjugini*), серебряный карась (*Carassius auratus gibelio*) [11, С. 461].

Ихтиофауна изученных рек оказалась однотипной и представлена от 3 до 7 видов (таблица 2). Следует отметить, что в подавляющем большинстве рек наиболее многочисленным видом является южная быстрянка и только в двух водотоках в рыбном сообществе доминировал голянь.

Таблица 2 – Видовой состав ихтиофауны обследованных водоёмов

№ п/п	Вид рыбы	Название реки						
		Глубокая щель	Якорная щель	Детляжка	Лоо	Церковное Лоо	Киег	Западный Дагомыс
<b>сем. Карповые (Cyprinidae)</b>								
1.	колхидский гольян ( <i>Phoxinus phoxinus colchicus</i> )	+	+	+	+	+	+	+
2.	южная быстрянка ( <i>Alburnoides bipunctatus fasciatus</i> )	+	+	+	+	+	+	+
3.	западно-закавказский пескарь ( <i>Gobio gobio lepidolaemus natio caucasicus</i> )	+	+		+	+	+	+
4.	черноморская (батумская) шемая ( <i>Chalcalburnus chalcoides derjugini</i> )		+		+			+
5.	кавказский голавль ( <i>Leuciscus cephalus orientalis</i> )				+			+
6.	колхидский усач ( <i>Barbus tauricus escherichii</i> )							+
<b>сем. Бычковые (Gobiidae)</b>								
7.	речной бычок Родиона ( <i>Neogobius rhodioni</i> )	+	+	+	+		+	+
<b>Количество видов, ед.</b>		4	5	3	6	3	4	7

Все обитающие виды рыб в обследованных реках нагульных и зимовальных миграций не совершают. Миграции совершаются короткие, для выбора мест размножения. По характеру нереста все виды относятся к весенне-летненерестующим рыбам. Сроки нереста зависят от гидрологической обстановки в реке, температуре воды, погодных условий.

В руслах рек чётко прослеживается распределение видов по биотопам. Выделено четыре типа распределения рыб по экологическим зонам:

I тип – **пелагический**, к этому типу относится южная быстрянка;

II тип – **литоральный**, который представлен такими видами как усач, гольян и голавль;

III тип – **бентальный**, к этому типу относится пескарь и речной бычок;

IV тип – **смешанный**, к который включает шемаю.

Проведённые исследования установили современный видовой состав ихтиофауны некоторых малых водотоков и особенности составляющих компонентов фито-, зоопланктона и зообентоса. Полученные данные по состоянию биоценозов изученных рек могут послужить основой для рационального природопользования водотоков, разработки природоохранных мероприятий.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Крыжановский С.Г. Материалы об ихтиофауне рек Черноморского побережья (в пределах Краснодарского края) / Крыжановский С.Г., Троицкий С.К. // Вопр. Ихтиологии. - 1954. - Вып. 2. – С. 144-150.

2. Зозуля Л.В. К бентофауне горных водоёмов Краснодарского края / Зозуля Л.В. Плотников Г.К. // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистемы Черноморского побережья: Матер. Межреспубл. научно-практич. конф. - Краснодар, 1991. - Ч. 1. - С. 105-108.

3. Чихачев А.С. Современный статус ихтиофауны пресноводных водоемов Черноморского побережья Краснодарского края / Чихачев А.С., Лужняк В.А. // Биосфера и человек: Матер. междунар. научн.-практич. конф. - Майкоп, 2001. - С. 250-252.

4. Решетников С.И., Пашков А.Н., Сумароков В.С. Современное состояние ихтиоценоза реки Мзымта (бассейн Чёрного моря) / Решетников С.И., Пашков А.Н., Сумароков В.С. и др. // Проблемы экологии горных территорий: Сб. научн. тр. – М.: изд-во КМК. - 2006. – С. 132-142.

5. Туниев С.Б. К ихтиофауне бассейна реки Псахе (Лазаревский район, Сочи) / Туниев С.Б. // Проблемы устойчивого развития регионов юга России. Сочи: Сочинский НИЦ РАН. - 2004. - С. 206-207.

6. Решетников С.И. Сравнительная характеристика биоценозов некоторых малых рек Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа / Решетников С.И., Зубарев А.Н., Сумароков В.С. и др. // Естественные технические науки. – 2007. - № 6. - С.65-71.

7. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / Правдин И.Ф. М.: Пищевая промышленность - 1966. - 376 с.
8. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений // Л.: Гидрометеоздат. - 1983. - 148 с.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов./ Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской./ М.: Наука. - 1975. - 240 с.
10. Инструкция по отбору проб зообентоса // Л.: ГосНИОРХ. - 1983. - 39 с.
11. Лужняк В.А. Ихтиофауна рек и лиманов черноморского побережья России / Лужняк В.А. // Вопросы ихтиологии. - 2003. - Том 43. - № 4. - С. 457-463.

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

1. Kryzhanovsky S.G. Materialy ob ikhtiofaune rek Chernomorskogo poberezhya (v predelah Krasnodarskogo kraja) [Materials on the Ichthyofauna of the Rivers of the Black Sea Coast (within the Krasnodar Territory)] / Kryzhanovsky S.G., Troitsky S.K. // Vopr. Ikhtologii [Ichthyology Issues]. - 1954. - Vol. 2. - P. 144-150. [In Russian]
2. Zozulya L.V. K bentofaune gornyykh vodoёмov Krasnodarskogo kraja [To the Bentofauna of Mountain Reservoirs of the Krasnodar Territory] / Zozulya L.V., Plotnikov G.K. // Aktual'nyye voprosy ekologii i okhrany prirody ekosistemy Chernomorskogo poberezh'ya: Mater. Mezhrrepubl. nauchno-praktich. konf [Current Issues of Ecology and Nature Conservation of the Black Sea Coast Ecosystem: Mater. of Inter-Rep. Science-to-Practice Conf.] - Krasnodar, 1991. - Part 1. - P. 105-108. [In Russian]
3. Chihachev A.C. Sovremenniy status ikhtiofauny presnovodnykh vodoёмov Chernomorskogo poberezhya Krasnodarskogo kraja [Current Status of the Ichthyofauna of Freshwater Bodies of the Black Sea Coast of the Krasnodar Territory] / Chihachev A.C., Luzhnyak V.A. // Biosfera i chelovek: Mater, mezhdunar. nauchn.-praktich. konf. [Biosphere and Man: Mater, Intern. Science-to-Practice Conf.] - Maykop, 2001. - P. 250-252. [In Russian]
4. Reshetnikov S.I. Sovremennoe sostoyanie ikhtiofauny reki Mzymta (bassein Chyornogo morya) [Current State of Ichthyocenosis of the Mzymta River (Black Sea Basin)] / Reshetnikov S.I., Pashkov A.N., Sumarokov V.S. and others // Problemy ekologii gornyykh territoriy: Sb. nauchn. tr. [Problems of Ecology of Mountain Areas: Coll. of Scientific Works] - M.: KMK Publishing House. - 2006. - P. 132-142. [In Russian]
5. Tuniev S.B. K ikhtiofaune basseina reki Psakhe (Lazarevskii rayon, Sochi) [To the Ichthyofauna of the Psakhe Basin (Lazarevsky District, Sochi)] / Tuniev S.B. // Problemy ustoychivogo razvitiya regionov yuga Rossii. Sochi: Sochinskiy NITS RAN [Problems of Sustainable Development of the Regions of Southern Russia. Sochi: Sochi Research Centre RAS.] - 2004. - P. 206-207. [In Russian]
6. Reshetnikov S.I. Sravnitel'naya kharakteristika biotsenozov nekotorykh malykh rek Chernomorskogo poberezhya Severo-Zapadnogo Kavkaza [Comparative Characteristics of the Biocenoses of Some Small Rivers of the Black Sea Coast of the North-West Caucasus] / Reshetnikov S.I., Zubarev A.N., Sumarokov V.S. // Yestestvennyye tekhnicheskkiye nauki [Natural Technical Sciences]. - 2007. - No.6. - P.65-71. [In Russian]
7. Pravdin I.F. Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh) [Guidelines for the Study of Fish (mostly freshwater)] / Pravdin I.F. // M.:Food industry - 1966. - 376 p. [In Russian]
8. Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii [Guidance on Methods of Hydrobiological Analysis of Surface Water and Bottom Sediments] // L.:Hydrometeozdat. - 1983. - 148 p. [In Russian]
9. Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoёмov [Methods of Studying the Biogeocenoses of Inland Waters] / Responsible ed. F.D. Mordukhay-Boltovskaya. / M.:Nauka. - 1975. - 240 p. [In Russian]
10. Instructions for Sampling Zoobenthos [Instruktsiya po otboru prob zoobentosa] // L.:GosNIORH. - 1983. - 39 p. [In Russian]
11. Luzhnyak V.A. Ikhtiofauna rek i limanov chernomorskogo poberezhya Rossii [Ichthyofauna of Rivers and Estuaries of the Black Sea Coast of Russia] / Luzhnyak V.A. // Voprosy ikhtologii [Ichthyology Issues]. - 2003. - Vol. 43. - No. 4. - P. 457-463. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.017>

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ ТЕМНОХВОЙНОЙ ТАЙГИ БАСЕЙНА РЕКИ АЦА  
(ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Научная статья

**Пак Л.Н. \***

ORCID: 0000-0002-3635-8675,

ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН», Чита, Россия

\* Корреспондирующий автор (pak\_lar[at]bk.ru)

**Аннотация**

Обобщены результаты исследований темнохвойных лесов в бассейне р. Аца, входящих в состав водосборной площади бассейна оз. Байкал. В настоящее время лесные экосистемы бассейна оз. Байкал подвергаются сильным изменениям под влиянием антропогенных и природных факторов. В связи с этим, прямо были поставлены задачи: описать сообщества темнохвойных лесов бассейна р. Аца, оценить их видовое разнообразие, составить предварительные прогнозы изменения биоразнообразия. С целью нахождения наименее антропогенно (в том числе пирогенно) нарушенных темнохвойных лесов исследовались хорошо сохранившиеся таежные массивы бассейна р. Аца 50° с.ш. и 109° в.д. на высоте 930–1600 м над ур. моря. В результате проведенных исследований, во флоре темнохвойных лесов выявлено около 100 видов высших сосудистых растений. Это говорит о том, что темнохвойные леса не склонны образовывать насаждения с большой примесью растений. Наименьшей видовой насыщенностью сосудистыми растениями характеризуются еловые сообщества и кедровники багульниковый, рододендроновый и черничный. С точки зрения произрастания редких видов, внесенных в Красную книгу Забайкальского края (Восточное Забайкалье), в темнохвойных лесах выделяется 1 вид - *Sorbus sibirica*.

**Ключевые слова:** темнохвойные леса, Восточное Забайкалье, бассейн, оз. Байкал, р. Аца.

**BIODIVERSITY OF TAIGA TREES WITH DARK NEEDLES IN ATSA RIVER BASIN (EASTERN  
TRANSBAIKAL)**

Research article

**Pak L.N. \***

ORCID: 0000-0002-3635-8675,

Federal Publicly Funded Institution of Science “Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the RAS,” Chita, Russia

\* Correspondent author (pak\_lar[at]bk.ru)

**Abstract**

The results of the study of trees with dark needles in Atsa River basin forming part of the catchment area of the Lake Baikal basin are generalized in the article. At present, forest ecosystems of the Lake Baikal basin undergo strong changes under the influence of anthropogenic and natural factors. In this connection, the tasks were clearly set: To describe the biocoenosis of trees with dark needles of the Atsa River basin, to evaluate their species diversity, to make preliminary forecasts of changes in biodiversity. For the purpose of finding the least anthropogenically (including pyrogenically) impacted tees with dark needles, well-preserved taiga massifs of the Atsa River basin of 50° north latitude and of 109° eastern longitude at an altitude of 930-1600 m above sea level were considered. As a result of the studies, about 100 species of higher vascular plants were detected in the flora of trees with dark needles. It suggests that trees with dark needles are not inclined to form plantations with a large impurity of plants. The smallest species richness of vascular plants is characterized by spruce biocoenosis and pine forests, fennel, rhododendron and blueberries. From the point of view of the rare species growth included in the Red Book of the Transbaikal region (Eastern Transbaikal), trees with dark needles contain one species – *Sorbus sibirica*.

**Keywords:** trees with dark needles, Eastern Transbaikal, basin, Lake Baikal, Atsa River.

**Введение**

Настоящая статья является продолжением цикла публикаций, посвященных обобщению материалов инвентаризации флоры бассейна р. Аца как эталонного участка, входящего в границы природоохранной территории бассейна оз. Байкал [1], [2], [3]. Бассейн р. Аца, непосредственно, является левым притоком р. Чикой, которая представляет собой правый приток р. Селенга – крупнейшей реки, впадающей в оз. Байкал.

В настоящее время лесные экосистемы бассейна оз. Байкал подвергаются сильным изменениям под влиянием антропогенных и природных факторов. Рядом авторов, отмечается процесс естественного «зеленого остепнения и опустынивания», который территориально протекает неравномерно и вызывает пространственную пестроту изменений площадей, их деградацию в растительном покрове. Собственно, сам характер деградационных процессов связан с проникновением в степные и лесостепные ландшафты – пустынно-степных видов, а в лесные ландшафты – лесостепных видов [4], [5].

Непосредственное решение проблем трансформации и сохранения биоразнообразия лесной растительности невозможно без теоретических представлений о ее составе и структуре, естественно сформировавшихся, при отсутствии антропогенных воздействий и природных катастроф, а также без натуральных описаний наименее нарушенных лесных сообществ. В связи с этим, прямо были поставлены задачи: описать сообщества темнохвойных лесов бассейна р. Аца, оценить их видовое разнообразие, составить предварительные прогнозы изменения биоразнообразия.

Темнохвойные леса на территории бассейна оз. Байкал (Восточное Забайкалье) занимают 16,3% от площади покрытой лесной растительностью, из которых 73,0% приходится на Красночикоиское лесничество, в котором расположен бассейн р. Аца.

#### Методы и принципы исследований

С целью нахождения наименее антропогенно (в том числе пирогенно) нарушенных темнохвойных лесов исследовались хорошо сохранившиеся таежные массивы бассейна р. Аца 50° с.ш. и 109° в.д. на высоте 930–1600 м над ур. моря.

Сбор данных проводился в 2015 году. Были сделаны геоботанические описания на квадратных площадках размером 0,25 га. Балловые оценки покрытия-обилия непосредственно проводили по методике Браун-Бланке. При выделении ярусов, собственно, использовали общепринятую в популяционной биологии шкалу растений. На ее основании растения относили: к ярусу А (древесный ярус, древостой); В (кустарниковый ярус, подлесок вместе с подростом); С (травяно-кустарничковый ярус); D (моховолишайниковый ярус).

Общий список сосудистых растений из геоботанических описаний темнохвойных лесов составляет около 100 видов (Таблица 1).

#### Основные результаты

В темнохвойных лесах бассейна р. Аца были выделены пихтовые, еловые и кедровые сообщества.

Пихтовые сообщества описаны на высоте 930-1475 м над ур. моря в прирусловой части р. Аца и на южных, восточных склонах гор крутизной от 10 до 20°. В первом древесном ярусе (А), наряду с *Abies sibirica* зафиксированы *Pinus sibirica*, *Larix gmelinii*, *Betula pendula*. Средняя высота яруса 28 м, при среднем диаметре пихты - 20-24, кедр - 46-58, лиственницы - 28-72, березы - 38 см. Второй, кустарниковый ярус (В) обычно сформирован березой повислой, средней высотой 18 м. Проективное покрытие яруса варьирует от 5 до 20%. Средняя высота - 0,5- 1,5 м. В составе более часто встречаются: *Lonicera edulis*, *Sorbus sibirica*, *Swida alba*, *Ribes spicatum* и *Rosa acicularis*, а также другие кустарники. Травяно-кустарничковый покров (ярус С) развит хорошо. Проективное покрытие 70-80%, средняя высота 50-80 см.

В травяном покрове по обилию выделяются *Woodsia ilvensis*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Pyrola asarifolia*, *Bergenia crassifolia*, *Athyrium filix-femina*, *Linnaea borealis*, *Equisetum sylvaticum*. Встречается и ряд других растений. Моховолишайниковый ярус (D) развит. Его проективное покрытие - 30-80%.

В пихтовых сообществах более обилён подрост пихты – 0,1-0,6 тыс. шт./га. Количество подроста кедр и березы составляет 0,2-0,3 тыс. шт./га. Средняя высота подроста всех древесных пород варьирует от 1,0 до 3,0 м.

Еловые сообщества исследованы в прирусловой части притоков р. Аца на высоте 985-990 м над ур. моря. В первом древесном ярусе (А) выделены *Picea obovata*, *Larix gmelinii* и *Betula pendula*, высота которых составляет 20-24 м. Средний диаметр ели 24-40 см, лиственницы 30-50 см, березы 20 см. Ярусность древостоя не выражена. Проективное покрытие подлеска составляет 60-80%, средняя высота 1,5-2,5 м. В кустарниковом ярусе (В) доминирует *Betula fruticosa*, обычно встречаются *Salix rorida*, *Salix schwerinii*, *Pentaphylloides fruticosa*, *Ribes spicatum* и *Spiraea salicifolia*. Травяно-кустарничковый покров (ярус С) развит хорошо. Проективное покрытие 90%, средняя высота - 60-80 см. Встречаются такие растения как *Aconitum septentrionale*, *Rhodococcum vitis-idaea*, *Calamagrostis purpurea*, *Vicia cracca* и другие. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова находится в пределах 10-30%.

В подросте еловых сообществ выделены: ель, береза и лиственница. Численность подроста ели и березы 0,2-0,5-4 тыс. шт./га, средняя высота 3-4 м; численность подроста лиственницы меньше – 0,1 тыс. шт./га, средняя высота 5,0 м.

Кедровые сообщества отмечены на высотах 1200-1600 м над ур. моря, на склонах гор всех экспозиций, крутизной от 5 до 35°. Насаждения имели разный возраст - 60-240 лет, бонитет - III-IV, полноту - 0,3-0,8.

Таблица 1 – Флористический состав пихтовых, еловых и кедровых сообществ в бассейне р. Аца

Растение	Пихтовник		Ельник		Кедровник																	
	Номер пробной площади																					
	28	32	88	65	74	81	82	85	92	93	94	84	86	87	90	71	91	95	96	97	98	83
Древесный ярус																						
Береза повислая - <i>Betula pendula</i>	2	3	*п	2		*п	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	
Ель сибирская - <i>Picea obovata</i>	2	2		4	2		1									1						
Лиственница Гмелина - <i>Larix gmelinii</i>	2	2		2	2	2	2								3		1					
Пихта сибирская - <i>Abies sibirica</i>	3	3	5			1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	
Сосна сибирская - <i>Pinus sibirica</i>	2	2	2			4	5	4	5	5	5	5	5	5	3	5	4	4	4	4	5	3
Осина - <i>Populus tremula</i>																						3
Кустарниковый ярус																						
Береза кустарниковая - <i>Betula fruticosa</i>				2	2																	
Бузина сибирская - <i>Sambucus sibirica</i>			1																			

Продолжение таблицы 1 – Флористический состав пихтовых, еловых и кедровых сообществ в бассейне р. Аца

Растение	Пихтовник		Ельник		Кедровник																	
	Номер пробной площади																					
	28	32	88	65	74	81	82	85	92	93	94	84	86	87	90	71	91	95	96	97	98	83
Жимолость съедобная - <i>Lonicera edulis</i>	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1		1
Ива росистая - <i>Salix rorida</i>				1	1																	
Ива тарайкинская - <i>Salix taraiakensis</i>					1																	
Ива ложнопятыччинковая - <i>Salix pseudopentandra</i>																	1					
Ива Шверина - <i>Salix schwerinii</i>				1	1																	
Малина сахалинская - <i>Rubus sachalinensis</i>	1		1			1	1	1		1	1	2				1	1					
Можжевельник сибирский - <i>Juniperus sibirica</i>													1									1
Ольховник кустарниковый - <i>Duschekia fruticosa</i>		1							2								1					
Пятилистник кустарниковый - <i>Pentaphylloides fruticosa</i>				1	1																	
Рододендрон даурский - <i>Rhododendron dauricum</i>		1				2	1									1						4
Рябина сибирская - <i>Sorbus sibirica**</i>	1		1				1	1	1	1	1	1	1	3				1	1	1		
Рябинник рябинолистный - <i>Sorbaria sorbifolia</i>	1																					
Свидина белая - <i>Swida alba</i>	1	1																				
Смородина колосистая - <i>Ribes spicatum</i>	1	1		1	1																	
Смородина моховка - <i>Ribes procumbens</i>				1																		
Смородина черная - <i>Ribes nigrum</i>		1																				
Таволга альпийская - <i>Spiraea alpina</i>				1																		
Таволга иволистная - <i>Spiraea salicifolia</i>				1	1																	
Таволга средняя - <i>Spiraea media</i>	1	1																				
Черемуха обыкновенная - <i>Padus avium</i>	1																					
Шиповник иглистый - <i>Rosa acicularis</i>	1	1		1		1	1	1	1	1		1				1	1					1
Травяно-кустарничковый ярус																						
Багульник болотный - <i>Ledum palustre</i>								1	1	2	1	3	3	3	3	1			1	2	1	
Бадан толстолистный - <i>Bergenia crassifolia</i>			3			5	5	5	5	5	5				1			2	2			5
Борец железистый - <i>Aconitum subglandulosum</i>			1																			
Борец северный - <i>Aconitum septentrionale</i>	1	1		1													1	2				
Брусника обыкновенная - <i>Rhodococcum vitis-idaea</i>	1	1		1		1	1	1	1	1	1	3	3		3	2		2	2	2		2
Василистник вонючий - <i>Thalictrum foetidum</i>		1																				
Василистник придатковый - <i>Thalictrum appendiculatum</i>	1				1																	
Вейник наземный - <i>Calamagrostis epigeios</i>		1	1	1		2		1	1		1		1			2	5	2	1			1
Вейник пурпурный - <i>Calamagrostis purpurea</i>			1		1																	
Вейник тонкий - <i>Calamagrostis tenuis</i>	1																					
Вероника длиннолистная - <i>Veronica longifolia</i>					1																	
Ветреница лесная - <i>Anemone sylvestris</i>																						
Воронец красноплодный - <i>Actaea erythrocarpa</i>							1															

Продолжение таблицы 1 – Флористический состав пихтовых, еловых и кедровых сообществ в бассейне р. Аца

Растение	Пихтовник		Ельник		Кедровник																	
	Номер пробной площади																					
	28	32	88	65	74	81	82	85	92	93	94	84	86	87	90	71	91	95	96	97	98	83
Вороний глаз мутовчатый - <i>Paris verticillata</i>	1																					
Вудсия эльбская - <i>Woodsia ilvensis</i>			2																			
Галения рогатая - <i>Halenia corniculata</i>					1																	
Герань Власова – <i>Geranium vlassovianum</i>	1	1																				
Герань забайкальская - <i>Geranium transbaicalicum</i>	1																					
Голокучник трехраздельный - <i>Gymnocarpium dryopteris</i>			2				1	1	1						3							
Голубика обыкновенная - <i>Vaccinium uliginosum</i>								1				2	2		2					1	2	
Горошек мышиный - <i>Vicia cracca</i>		1			1																	
Горошек однопарный - <i>Vicia unijuga</i>		1																				
Горошек приятный - <i>Vicia amoena</i>				1																		
Гравилат алеппский - <i>Geum aleppicum</i>					1																	
Грушанка копытolistная - <i>Pyrola asarifolia</i>	2	1		1			1								1		1					1
Грушанка круглолистная - <i>Pyrola rotundifolia</i>						2																
Земляника восточная - <i>Fragaria orientalis</i>	1	1													1							
Иван-чай узколистный - <i>Chamaenerion angustifolium</i>									1													1
Камнеломка летняя - <i>Saxifraga aestivalis</i>			1																			
Княженика - <i>Rubus arcticus</i>				1	1																	
Княжик сибирский - <i>Atragene sibirica</i>			1	1																		
Костяника каменная - <i>Rubus saxatilis</i>		1															1					
Костяника хмелилистная - <i>Rubus humulifolius</i>	1			1																		1
Кочедыжник женский - <i>Athyrium filix-femina</i>		3															2					
Крапива узколистная - <i>Urtica angustifolia</i>	1																					
Кровохлебка лекарственная - <i>Sanguisorba officinalis</i>					1																	
Лабазник дланевидный - <i>Filipendula palmate</i>	1	1			1																	
Линнея северная - <i>Linnaea borealis</i>	1	2	1			1	1	1	1		2	1	1	1	1	2		2	2	2	2	
Лук черемша - <i>Allium microdictyon</i>	1																					
Лютик ядовитый - <i>Ranunculus sceleratus</i>																						
Майник двулистный - <i>Maianthemum bifolium</i>		1	1				1					1			1		1					1
Майник широколистный - <i>Maianthemum dilatatum</i>	1																					
Мерингия бокоцветная - <i>Moehringia lateriflora</i>	1	1																				
Мятлик сибирский - <i>Poa sibirica</i>												1	1	1								
Недоспелка копьевидная - <i>Cacalia hastata</i>	1																					
Осока плевельная - <i>Carex loliacea</i>				1	1																	
Осока седеющая - <i>Carex canescens</i>		1																				
Осока бледная - <i>Carex pallida</i>																						1

Окончание таблицы 1 – Флористический состав пихтовых, еловых и кедровых сообществ в бассейне р. Аца

Растение	Пихтовник			Ельник			Кедровник																
	Номер пробной площади																						
	28	32	88	65	74	81	82	85	92	93	94	84	86	87	90	71	91	95	96	97	98	83	
Осока двусеменная - <i>Carex disperma</i>																					1		
Осока Ильина - <i>Carex iljinii</i>											1	1						1			1		
Осока мелкоостреник - <i>Carex microglochin</i>													1								2		
Ортилия однобокая - <i>Orthilia secunda</i>																		1					
Пижма обыкновенная - <i>Tanacetum vulgare</i>																							
Плаун годичный - <i>Lycopodium annotinum</i>							1	1		+		1	2				1						
Подмаренник северный - <i>Galium boreale</i>	1															1							
Подмаренник цепкий - <i>Galium aparine</i>		1																					
Польнь замещающая - <i>Artemisia commutata</i>																							
Поручейник приятный - <i>Sium suave</i>					1																		
Седмичник европейский - <i>Trientalis europaea</i>	1	1	1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Синюха кистистая - <i>Polemonium racemosum</i>	1				1																		
Соссюрея амурская - <i>Saussurea amurensis</i>																							
Тысячелистник азиатский - <i>Achillea asiatica</i>																							
Фиалка Гмелина - <i>Viola gmeliniana</i>	1																						
Фиалка одноцветковая - <i>Viola uniflora</i>		1			1																		
Хвощ лесной - <i>Equisetum sylvaticum</i>	3	1		2					1							1	1						
Черника обыкновенная - <i>Vaccinium myrtillus</i>			1								1	1		3				1	4	4			
Чина приземистая - <i>Lathyrus humilis</i>	1															1							
Шпорник губоцветковый - <i>Delphinium cheilanthum</i>					1																		
Щавель Гмелина - <i>Rumex gmelinii</i>				1																			
Количество видов: 98																							
моховолишайниковый ярус																							
Мох	5	3	3	1	3	1	3	1	1	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	1	1	

Примечание: \* n - подрост древесных пород; \*\* - растения, включенные в перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края; 1-5 - баллы обилия растений по Браун-Бланке

В типологическом составе кедровых сообществ доминирующее положение занимали кедровники бадановой группы, которые расположены на высоте 1046-1544 м над ур. моря, на северо-восточных и западных склонах гор крутизной от 10 до 30°.

В первом древесном ярусе (А) кедровника бадановой группы доминантом зафиксирована *Pinus sibirica*, содоминантами явились: *Abies sibirica*, реже - *Larix gmelinii*. Для второго древесного яруса характерна *Betula pendula*, реже *Picea obovata*. Средняя высота яруса варьирует от 17 до 35 м. Сомкнутость крон составляет 60-80%. Средний диаметр стволов сосны - 42-46 см, пихты - 18-32 см, лиственницы - 35-40 см и березы - 14-28 см. В кустарниковом ярусе (В) доминантами отмечены *Lonicera edulis*, *Sorbus sibirica* и *Rosa acicularis*. Реже встречаются *Rubus sachalinensis*, *Duschekia fruticosa* и *Rhododendron dauricum*. Этот ярус развит слабо, его проективное покрытие менее 5%, редко достигает 5-10%. Средняя высота яруса варьирует от 0,4 до 1,5 м. Травяно-кустарничковый ярус (С) представлен такими доминантами как: *Bergenia crassifolia*, *Calamagrostis epigeios*, *Linnaea borealis*, *Rhodococcum vitis-idaea*, реже встречаются *Gymnocarpium dryopteris*, *Vaccinium uliginosum* и другие растения. Проективное покрытие яруса 70-80%, средняя высота - 40-70 см. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова находится в пределах 5-80%. Включает преимущественно мхи рода сфагнум.

В подросте этого типа кедровников выделены: сосна, пихта и береза. Численность подроста сосны - 0,2-0,8; пихты - 0,3-1,5; березы 0,1-0,8 тыс. шт./га. Его средняя высота находится в пределах 1,0-2,0 м.

Следующая группа типов леса - кедровники багульниковые, широко встречающиеся на западных и юго-западных пологих склонах гор, на высоте 1400-1560 м над ур. моря.

В первом древесном ярусе (А) кедровника багульниковой группы доминантом выделена *Pinus sibirica*. Для второго древесного яруса характерны *Abies sibirica* и *Betula pendula*. Средняя высота яруса варьирует: для первого яруса - 27-30 м, второго - 15-16 м. Сомкнутость составляет 60-70%. Средний диаметр стволов сосны - 36-46 см, пихты - 14-18 см, березы 12-14 см. В кустарниковом ярусе (В) доминантами отмечены *Rubus sachalinensis* и *Sorbus sibirica*. Реже встречаются *Juniperus sibirica*, *Duschekia fruticosa* и *Rosa acicularis*. Этот ярус имеет проективное покрытие от 5 до 40%. Средняя высота яруса 0,7-1,0 м. Травяно-кустарничковый ярус (С) представлен такими доминантами как: *Ledum palustre* и *Rhodococcum vitis-idaea*, содоминантами - *Vaccinium uliginosum*. Характерными видами в сообществе являются *Linnaea borealis* и *Trientalis europaea*. Проективное покрытие яруса 60%, средняя высота - 40-50 см. Моховой покров хорошо развит, проективное покрытие 80-90%.

В подросте этого типа кедровников находятся сосна, пихта и береза. Численность подроста сосны - 0,2-1,5; пихты - 0,2-0,6; березы 0,2 тыс. шт./га. Средняя высота подроста сосны - 1,0-1,5 м, пихты - 0,3-1,0 м, березы - 3,0 м.

Кедровники разнотравной группы типов леса исследованы на северо-западных и северо-восточном склонах крутизной от 5 до 20°, на высоте 1026-1490 м над ур. моря. Первый древесный ярус (А) образуют *Pinus sibirica* и *Abies sibirica*, редко *Larix gmelinii*. Доминирующее положение занимает *Pinus sibirica*. Высота яруса 25-32 м, средний диаметр сосны - 24-46 см, пихты - 25-32 см. Второй древесный ярус включает преимущественно *Betula pendula*, реже *Abies sibirica*. Средняя высота березы - 12-15 м, средний диаметр 12-18 см. В кустарниковом ярусе (В) отмечены *Lonicera edulis*, *Sorbus sibirica*, *Rosa acicularis*, реже *Rhododendron dauricum* и *Salix pseudopentandra*. Проективное покрытие кустарникового яруса 70-80%, средняя высота - 60-70 см. Обычными видами в сообществе являются *Calamagrostis epigeios*, местами доминирующий в травяном покрове, а также *Rhodococcum vitis-idaea*, *Trientalis europaea*, *Equisetum sylvaticum*. Мохово-лишайниковый покров хорошо развит, проективное покрытие мхов - 80%, лишайников до 10%.

Подрост образуют сосна, лиственница, береза и пихта. В расчете на 1 га в разнотравном кедровнике находится подрост сосны - 0,3-0,5 тыс. шт., лиственницы - 0,2-1,5 тыс. шт., пихты - 0,6-1,5 тыс. шт. и березы - 0,1-0,2 тыс. шт. Средняя высота подроста 1,5-2,0 м.

Кедровники черничной группы типов леса описаны на пологих северо-восточных и северо-западных склонах, на высоте 1520 м над ур. моря. Первый древесный ярус (А) образуют *Pinus sibirica* и *Abies sibirica*. Средняя высота яруса 20-25 м, средний диаметр - 20-41 см. Во втором ярусе находится *Betula pendula*, средняя высота которой 12 м, средний диаметр 15-16 см. Сомкнутость крон древостоя 40-50%. В кустарниковом ярусе (В) отмечены *Lonicera edulis* и *Sorbus sibirica*. Высота кустарников - около 1 м. Травяно-кустарничковый ярус (С) представлен доминантами - *Vaccinium myrtillus*, содоминантами - *Ledum palustre*, *Bergenia crassifolia*, *Rhodococcum vitis-idaea* и *Linnaea borealis*. Встречается *Vaccinium uliginosum* и другие растения. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса 70-80%, средняя высота 50 см.

В подросте находятся сосна (0,5-0,7 тыс. шт./га), пихта (0,1-0,2 тыс. шт./га), береза (0,1-0,2 тыс. шт./га). Средняя высота подроста - 2-3 м.

Кедровник рододендроновый отмечен на юго-западном склоне гор крутизной около 10°, на высоте 1200 м. Первый древесный ярус (А) создают *Pinus sibirica* и *Pinus sylvestris*, при этом доминирует первая. Средняя высота древостоя 30 м, средний диаметр 38-40 см. Второй древесный ярус слагают *Betula pendula* и *Populus tremula*, высотой 12-14 м. В кустарниковом ярусе (В) доминирует *Rhododendron dauricum*, встречаются *Juniperus sibirica*, *Duschekia fruticosa* и *Rosa acicularis*. Проективное покрытие кустарникового яруса составляет 60-70%, средняя высота - 2,5 м. Травяно-кустарничковый ярус (С) представлен *Bergenia crassifolia*, *Rhodococcum vitis-idaea* и другими растениями. Проективное покрытие яруса - 70-80%. Средняя высота - 30-40 см. Мохово-лишайниковый покров развит слабо, проективное покрытие менее 5%.

Подрост состоит из сосны, пихты и осины. Численность подроста находится в пределах 0,2-0,4 тыс. шт./га. Больше всего встречается находится кедр. Средняя высота - 2,0-3,0 м.

#### Заключение

В результате проведенных исследований, во флоре темнохвойных лесов выявлено около 100 видов высших сосудистых растений. Это говорит о том, что темнохвойные леса не склонны образовывать насаждения с большой примесью растений. Наименьшей видовой насыщенностью сосудистыми растениями характеризуются еловые сообщества и кедровники багульниковый, рододендроновый и черничный. С точки зрения произрастания редких видов, внесенных в Красную книгу Забайкальского края (Восточное Забайкалье), в темнохвойных лесах выделяется 1 вид - *Sorbus sibirica*.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Макаров В.П. Сосновые леса Национального парка «Чикой» в бассейне реки Аца / В.П. Макаров, Л.Н. Пак, О.Ф. Малых // Международный журнал научных и прикладных исследований. – 2018. – № 11-1 (77). – С. 123-128.
2. Макаров В.П. Флористический состав кедровых лесов национального парка «Чикой» в бассейне реки Аца / В.П. Макаров, А.Д. Неслухов, Л.Н. Пак, Т.В. Желибо, Е.А. Банщикова // Вестник Бурятской сельскохозяйственной академии сельского хозяйства имени В.Р. Филлипова. – 2016. – №2 (43). – С. 79-85.
3. Бобринев В. П. Древесная флора Забайкальского края / В.П. Бобринев, Л. Н. Пак, Е. А. Банщикова. – Чита: ЗабГУ, 2016. – 215 с.
4. Гунин П.Д. Региональные особенности процессов опустынивания экосистем на границе бассейна Байкала и Центральноазиатского бессточного бассейна / П.Д. Гунин, С.Н. Бажа, Е.В. Данжалова и другие // Аридные экосистемы. – 2015. – №3 (64). – С. 5-22.

5. Бажа С.Н. Геоинформационное картографирование наземных экосистем бассейна Селенги на примере модельных участков. Методические рекомендации / С.Н. Бажа, Е.А. Востокова, П.Д. Гунин и другие // Биологические ресурсы и природные условия Монголии: Труды Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ. – 2013. – Т. 61. – М.: Россельхозакадемия. 109 с.

6. Вальтер Г. Общая геоботаника / Г. Вальтер. – М.: Мир, 1982. – 264 с.

7. Сукачев В. Н. Общие принципы и программа изучения типов леса / В. Н. Сукачев, С. В. Зонн. – М., 1961. – С. 9–75.

8. Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края, постановление правительства Забайкальского края от 16 февраля 2010 года, № 52.

9. Флора Сибири в 14 т. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1988. – 2003 с.

10. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С.К. Черепанов. – СПб.: Мир и семья, 1995. — 992 с.

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

1. Makarov V. P. Sosnyye lesa Nacional'nogo parka «Chikoy» v bassejne reki Aca [Pine forests Of the national Park "Chikoi" in the basin of the river Assa] / V. P. Makarov, L.N. Pak, O. F. Malykh // Mezhdunarodnyj zhurnal nauchnyh i prikladnyh issledovanij [international journal of scientific and applied research]. - 2018. - N11-1 (77). - P. 123-128. [in Russian]

2. Makarov V.P. Floristicheskij sostav kedrovyyh lesov nacional'nogo parka «Chikoy» v bassejne reki Aca [Floristic composition of pine forests of the national Park "Chikoy" v bassejne reki Aca] / V.P. Makarov , A.D. Nesluhov, L.N. Pak and others // Vestnik Buryatskoj sel'skohozyajstvennoj akademii sel'skogo hozyajstva imeni V.R. Fillipova [Bulletin of the Buryat agricultural Academy of agriculture named after V. R. Filippov]. – 2016. – N2 (43). – P. 79-85. [in Russian]

3. Bobrinev V.P. Drevesnaya flora Zabajkal'skogo kraja [Woody flora of the TRANSBaikal region] / V.P. Bobrinev, L.N. Pak, E.A. Banshchikova. – CHita: ZabGU, 2016. – 215 p. [in Russian]

4. Gunin P.D. Regional'nye osobennosti processov opustynivaniya ehkosistem na granice bassejna Bajkala i Central'noaziatskogo besstochnogo bassejna [Regional features of the processes of desertification of ecosystems on the border of the Baikal basin and the Central Asian drainage basin] / P.D. Gunin, S.N. Bazha, E.V. Danzhalova and others // Aridnye ehkosistemy [Arid ecosystems]. – 2015. – N3 (64). – P. 5-22. [in Russian]

5. Bazha S.N. Geoinformacionnoe kartografirovaniye nazemnyh ehkosistem bassejna Selengi na primere model'nyh uchastkov. Metodicheskie rekomendacii [Geoinformation mapping of terrestrial ecosystems of the Selenga basin on the example of model sites. Methodical recommendations] / S. N. Bazhan, E.A. Vostokova, P.D. Gunin and others // Biologicheskie resursy i prirodnye usloviya Mongolii: Trudy Sovmestnoj Rossijsko-Mongol'skoj kompleksnoj biologicheskoy ehkspedicii RAN i ANM [Biological resources and natural conditions of Mongolia: transactions of the Joint Russian-Mongolian complex biological expedition of RAS and ASM]. - 2013. - Vol. 61. – М.: Russian Academy Of Agricultural Sciences. 109 p. [in Russian]

6. Val'ter G. Obshchaya geobotanika [General geobotany] / G. Val'ter. – М.: Мир, 1982. – 264 p. [in Russian]

7. Sukachev V. N. Obshchie principy i programma izucheniya tipov lesa [General principles and program of forest types study] / V. N. Sukachev, S. V. Zonn. – М., 1961. – PP. 9–75. [in Russian]

8. Perechen' ob"ektov rastitel'nogo mira, zanesennyh v Krasnuyu knigu Zabajkal'skogo kraja [The list of objects of flora listed in the red book of the TRANS-Baikal territory], postanovlenie pravitel'stva Zabajkal'skogo kraja ot 16 fevralya 2010 goda, № 52. [in Russian]

9. Flora Sibiri [Flora of Siberia] v 14 t. – Novosibirsk: Nauka, Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN, 1988. – 2003 p. [in Russian]

10. Cherepanov S.K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nyh gosudarstv (v predelah byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)] / S.K. Cherepanov. – SPb.: Mir i sem'ya, 1995. — 992 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.018>

**НАУЧНАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ Л.Е. ОЛИФСОНА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ  
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ**

Научная статья

**Авшистер О.Д. \***

Оренбургский государственный медицинский университет, Оренбург, Россия

\* Корреспондирующий автор (oda3471[at]mail.ru)

**Аннотация**

Представлена научная и практическая деятельность заслуженного деятеля науки РСФСР, доктора биологических наук, профессора Л.Е. Олифсона, направленная на нужды фронта и тыла в годы Великой Отечественной войны. Проанализированы его начальные исследования по выделению ранее неизвестных токсических веществ, являющихся причиной возникновения алиментарно-токсической алейкии, и установлению их структуры. Отражен вклад ученого в области химии микотоксинов. Показана его роль в решении проблемы алиментарно-токсической алейкии.

**Ключевые слова:** химия, алиментарно-токсическая алейкия, Фузариум споротрихелла, микотоксины, липотоксол.

**SCIENTIFIC AND PRACTICAL ACTIVITY OF L.E. OLIFSON IN THE YEARS  
OF THE GREAT PATRIOTIC WAR**

Research article

**Avshister O.D. \***

Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia

\* Corresponding author (oda3471[at]mail.ru)

**Abstract**

The scientific and practical activities of the Honored Scientist of the RSFSR, PhD in Biology, Professor L.Ye. Olifson, aimed at helping the front and rear area during the Great Patriotic War is presented in the article. His initial research on the release of previously unknown toxic substances which are the cause of alimentary-toxic aleukia is analyzed and their structure is established. The contribution of a scientist in the field of mycotoxin chemistry is described. His role in solving the problem of alimentary-toxic aleukia is shown.

**Keywords:** Chemistry, alimentary-toxic aleukia, Fusarium sporotrichella, mycotoxins, lipotoxol.

**Введение**

Лев Ефимович Олифсон родился 25 октября 1912 года на западе Российской империи, в городе Витебске. После окончания школы поступил на химико-технологический факультет Витебского индустриально-педагогического института. Получив диплом инженера-педагога по химической технологии, переехал в Минск и стал студентом химического факультета Белорусского государственного университета. Его научные исследования по щелочному расщеплению ароматических кетонов и синтезу производных хинолина на основе ацетилен [5], [6], [9], проводимые на кафедре органической химии БГУ, где он – по завершению обучения – был оставлен в должности ассистента, увенчались защитой кандидатской диссертации [12].

**Основной текст статьи**

В начале войны Л.Е. Олифсон вместе с семьёй эвакуируется из Минска и через некоторое время прибывает в Оренбург, носивший в то время название Чкалов. В конце сентября приступает к работе на кафедре химии педагогического института и возглавляет её в течение четырёх лет.

В 1944 году в его жизни наступает новый этап, связанный с образованием и становлением Чкаловского (с 1957 года – Оренбургского) государственного медицинского института, появлению которого способствовали не только различные государственные органы, но и городская, в том числе и врачебная, общественность. Немаловажную роль в этом вопросе сыграла деятельность инициативной группы, в состав которой входил кандидат химических наук, доцент Л.Е. Олифсон.

Приказ об учреждении в городе Чкалове медицинского вуза вступил в действие 23 августа 1944 года. Вскоре была организована кафедра химии, и Лев Ефимович, назначенный её заведующим, занялся подбором кадров, организацией учебного процесса и поисками необходимого оборудования и реактивов.

В годы Великой Отечественной войны началась его изобретательская деятельность, направленная, в силу обстоятельств, на нужды армии. Все представленные им технические решения, имеющие оборонное значение, были внедрены в производство [1]. По заданию командования войсками Южно-Уральского военного округа он подготовил способ получения жидкости для заполнения приборов военных самолетов. В 1942 году обосновал возможность изготовления дубильного экстракта из руды Халиловского месторождения, расположенного в Чкаловской области недалеко от города Орска, и предложил способ его получения. Применение этого способа полностью обеспечило область высококачественными минеральными дубителями. По решению Министерства легкой промышленности СССР их производство стало осуществляться в Чкалове и Орске, что способствовало выполнению плана выпуска кожи, необходимой в то время для снабжения действующей армии обувью. На Чкаловском кожевенном заводе по

способу Олифсона и при его консультационной помощи производилась выделка кож, из которых шили армейские полушубки.

В 1943 году по поручению Чкаловского облисполкома Лев Ефимович разработал способ получения мыла, обладавшего антипаразитарными свойствами (за счёт наличия в нём ксантогеновых соединений); это спасло тысячи жизней на фронте и в тылу от инфекционных заболеваний.

В октябре этого же года Бюро изобретений Народного Комиссариата Обороны СССР установило приоритет Л.Е. Олифсона на способ приготовления дымообразующих составов. А в конце следующего года ему выдается секретное авторское свидетельство, зарегистрированное 21 февраля 1945 года в Бюро изобретений при Госплане СССР [17]. Поскольку информация, содержащаяся в тексте изобретения, не могла появиться в открытой печати, Льву Ефимовичу в качестве документа, подтверждающего его авторство, была выслана справка.

В 1944 году он осуществил синтез ряда химических веществ для нужд фронта, ставших основой двух авторских свидетельств на изобретения, не подлежащих опубликованию. Известны также созданные им способы окраски кож, пропитки валенок с целью придания им водонепроницаемости и т. д. Теоретическое обоснование и научное объяснение некоторых своих практических предложений и рекомендаций, сохранивших определенную значимость и в мирное время, Лев Ефимович опубликовал после окончания войны [10], [13], [14].

В связи с возникшим в годы войны дефицитом отдельных медикаментов Л.Е. Олифсон, при участии областного аптекоуправления, организовал в городе Чкалове получение химически чистого хлорида натрия, растворы которого достаточно широко применялись в медицине в тот период времени (для борьбы с обезвоживанием и интоксикацией организма, при больших кровопотерях, ожогах, перитонитах и т. д.), инвертного сахара, некоторых витаминов, сульфаниламидов и других лекарственных препаратов, необходимых для лечения раненых и больных в многочисленных госпиталях области.

В это непростое время он принимал активное участие в общественной жизни. Был ученым секретарем, а затем заместителем председателя областного научно-технического комитета, созданного в 1942 году, (в его состав входили видные ученые, эвакуированные из различных городов страны), длительное время, в том числе и после окончания войны, руководил химической лабораторией местной противовоздушной обороны города Чкалова.

За актуальные научные исследования, направленные на нужды фронта и тыла, и их успешную реализацию, а также за многогранную практическую деятельность Лев Ефимович Олифсон получил ряд благодарностей от командующего войсками Южно-Уральского военного округа, Министерства легкой промышленности СССР, обкома КПСС и облисполкома, награжден медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» [1].

*В годы Великой Отечественной войны в некоторых регионах СССР вновь распространилась болезнь «септическая ангина», зарегистрированная в начале 30-х годов XX века в Казахстане, а затем в Сибири. Впоследствии она получила название «алиментарно-токсическая алейкия», поскольку имела связь с питанием и возникала после употребления в пищу перезимовавшего под снегом зерна и продуктов его переработки. Болезнь характеризовалась резким уменьшением количества лейкоцитов, тромбоцитов и эритроцитов в крови вследствие угнетения костномозгового кроветворения, что приводило к высокой летальности. В Чкаловской области – как массовое явление – она стала распространяться с весны 1942 года. Вспышки заболевания продолжались до 1947 года, особенно тяжелое поражение наблюдалось в 1944 году.*

Первые сообщения о септической ангине (алиментарно-токсической алейкии) появились в научной литературе в 1935 году, но только в годы войны в изучении вопросов её этиопатогенеза и клиники были достигнуты большие успехи. Советские ученые установили этиологию алиментарно-токсической алейкии [4], её профилактика была поставлена на научные основы, однако механизм возникновения этого опасного и трудноизлечимого заболевания оставался неясным. Предполагалось, что оно зарождается под действием микотоксинов – продуктов жизнедеятельности микроскопических плесневых грибов, обитающих на перезимовавшем зерне. Изучение веществ, образуемых продуцентами микотоксинов, позволило сформулировать несколько гипотез токсичности зерна и химической природы соединений, вызывавших смертельную болезнь. Отсутствие среди учёных единого мнения по вопросам причины токсичности зерна и химической природы соединений, способствующих появлению алиментарно-токсической алейкии, объяснялось тем, что никому из них не удавалось выделить из перезимовавших злаков чистые ядовитые вещества и определить их состав и строение.

Именно такую цель поставил перед собой включившийся в решение возникшей проблемы Лев Ефимович Олифсон. Материалом для его первичных исследований стали образцы доброкачественного и перезимовавшего в поле зерна проса урожая 1942–1945 годов [20]. Свои первые результаты по данному вопросу он изложил в 1944 и в 1945 годах: в г. Чкалове на объединенной конференции лаборатории септической ангины института эпидемиологии и микробиологии им. И.И. Мечникова и 1-го Харьковского медицинского института, и в г. Москве на республиканском совещании по алиментарно-токсической алейкии.

Работа по исследованию химических и биологических свойств микотоксинов, являющихся, как выяснилось позднее, причиной возникновения алиментарно-токсической алейкии продолжилась после окончания войны. Используя многочисленные методики, Л.Е. Олифсон выделил из перезимовавшего под снегом зерна проса токсический стерол, обладавший сильным кардиотоническим, лейкопеническим и кожным действием, дал ему название *липотоксол*, выяснил его химическую природу и установил структурную формулу [19].

Сравнив строение липотоксола и некоторых стероидов растительного и животного происхождения, Лев Ефимович предположил, что токсичность выделенного стерола объясняется наличием в его составе лактонного кольца с двумя двойными связями. Подтверждением этой гипотезы стал открытый им процесс изомеризации липотоксола с образованием нетоксичного изолипотоксола [20]. Установление структуры липотоксола и возможности его изомеризации позволило Л.Е. Олифсону разработать ряд методов определения токсичности зараженного зерна [8], [11], [16], [23] и способов его обезвреживания [18], что имело большое практическое значение в сельском хозяйстве, пищевой промышленности и санитарно-гигиенической практике.

Из проса, искусственно инфицированного токсигенными штаммами микроскопических плесневых грибов *Fusarium sporotrichiella* (v. *Sporotrichioides* и v. *Roae*), Лев Ефимович сумел извлечь два токсических гликозида, которые назвал *спорофузарином* и *поэфузарином*, и при их ферментативном гидролизе выделил вещества близкие по химической структуре и физиологическому действию к *липотоксолу*. Этим веществам он дал названия *спорофузариогенин* (установив впоследствии его идентичность с *липотоксолом*) и *поэфузариогенин* [15].

При испытании биологического действия *спорофузариогенина* им была обнаружена картина отравления, характерная для алиментарно-токсической алейкии. Таким образом доцент Олифсон, защитивший впоследствии по результатам своих работ докторскую диссертацию [20], экспериментально подтвердил выдвинутую рядом ученых гипотезу об основной роли ядовитых веществ, вырабатываемых микромицетами фузариум споротрихиелла, в этиологии этого заболевания, а также других споротрихиеллотоксикозов.

#### Заключение

Исследования в области химии микотоксинов, получившие признание в нашей стране и за рубежом, заслуженный деятель науки РСФСР, доктор биологических наук, профессор Лев Ефимович Олифсон завершил в середине 1970-х годов. Тема «Микотоксины», по которой им опубликовано около 70 печатных работ [21] стала главной в его научной деятельности. А начиналось все в годы Великой Отечественной войны, с участия в решении проблемы, имевшей важное государственное значение, – проблемы микотоксикозов.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Авшистер О.Д. Человек, опережавший время: воспоминания о профессоре Л. Е. Олифсоне / Авшистер О.Д.. – Оренбург: ИНЭЛ Принт, 2018. – 104 с.
2. Габель О. Ю. Вопросы химии ядовитых веществ перезимовавшего проса / Габель О. Ю. // Труды Чкаловского института эпидемиологии и микробиологии им. И.И. Мечникова. – Чкалов, 1947. – Т.2 – С. 42–44.
3. Губарев Е. М. Химическая природа и некоторые физиологические свойства ядов, обуславливающих «септическую ангину» / Е. М. Губарев, Н. А. Губарева // Биохимия. – 1945. – Т. 10, вып. 3. – С. 199–204.
4. Ефремов В. В. Алиментарно-токсическая алейкия / Ефремов В. В.. – М.: Медгиз, 1948. – 120 с.
5. Козлов Н. С. Действие щелочей на ароматические кетоны / Н. С. Козлов, П. Н. Федосеев, Л. Е. Олифсон // Журнал общей химии. – 1936. – Т. VI, вып. 2. – С. 259–264.
6. Козлов Н. Конденсация ацетилена с ароматическими аминами в присутствии  $\text{Cu}_2\text{Br}_2$  / Н. Козлов, Л. Олифсон // Журнал общей химии. – 1938. – Т. VII, вып. 17. – С. 2301–2305.
7. Кретович В. Л. Исследование масла из перезимовавшего в поле токсического проса / В. Л. Кретович, А. А. Бундель // Биохимия. – 1945. – Т. 10, вып. 3. – С. 216–224.
8. О биологических методах определения токсичности зерна, пораженного токсигенными грибами / А. Н. Жилин, Л. Е. Олифсон, Ш. М. Кенина, П. Н. Перепелицина // Вопросы питания. – 1969. – № 4. – С. 58–61.
9. Олифсон Л. Е. Щелочное расщепление кетонов нафталинового ряда / Олифсон Л.Е. // Журнал общей химии. – 1939. – Т. IX, вып. 1. – С. 36–40.
10. Олифсон Л. Е. Антипаразитические препараты на основе ксантогеновых соединений / Олифсон Л. Е. // Гигиена и санитария. – 1946. – № 10. – С. 38–41.
11. Олифсон Л. Е. Новые химические методы определения токсичности злаковых культур / Олифсон Л. Е. // Сообщение о научных работах членов Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – Вып. 2. – С. 58–59.
12. Олифсон Л. Е. О действии щелочей на кетоны : дис. ... канд. хим. наук : защищена 05.05.41: утв. 26.12.45 / Олифсон Лев Ефимович. – Минск: БГУ, 1941.
13. Олифсон Л. Е. О переведении хромистого железняка в растворимое состояние – получение дубильного раствора // Вестник Чкаловского отделения Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – Чкалов, 1948 [1949]. – Вып. II. – С. 29–33.
14. Олифсон Л. Е. О применении реакции конденсации ацетилена с ароматическими аминами для синтеза лекарственных препаратов / Олифсон Л. Е. // VI Научная конференция (12-13 марта 1949 г.) : программа и тез. докл. – Чкалов, 1949. – С. 5
15. Олифсон Л. Е. О химической деятельности некоторых плесневых грибов на перезимовавших злаках / Олифсон Л. Е. // Вестник Чкаловского отделения Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – Чкалов, 1957. – Вып. VII. – С. 37–46.
16. Олифсон Л. Е. Спектрографическое исследование продуктов химической деятельности грибов *Fusarium sporotrichiella* / Олифсон Л. Е. // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – 1962. – Т. 7, № 1. – С. 109–110.
17. Олифсон Л. Е. Способ приготовления дымообразующих составов: а. с. № 5062 / Л. Е. Олифсон, В. М. Коган (СССР). – Приоритет 13.10.1943 г.
18. Олифсон Л. Е. Способы обезвреживания зерна, пораженного грибами фузариум споротрихиелла / Олифсон Л. Е. // Сельское хозяйство Поволжья. – 1960. – № 11. – С. 49.
19. Олифсон Л. Е. Токсические вещества, выделенные из злаковых культур, перезимовавших в поле, и их химическая природа / Олифсон Л. Е. // Вестник Чкаловского отделения Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – Чкалов, 1957. – Вып. VII. – С. 21–35.
20. Олифсон Л. Е. Химические и биологические свойства ядовитых веществ зерна, пораженного грибами *Fusarium sporotrichiella*: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Олифсон Лев Ефимович. – М.: МТИПП, 1965. – 35 с.

21. Олифсон Лев Ефимович (к 100-летию со дня рождения): биобиблиографический указатель / сост.: Т. В. Цирюльник, Т. В. Дементьева; ред., авт. вступ. ст. и науч. консультант О. Д. Авшистер; ОрГМА. – Оренбург, 2014. – 77 с. – (Ученые Оренбургской государственной медицинской академии).

22. Свойская В.Д. Опыты изолирования ядовитых веществ из перезимовавшего проса / Свойская В.Д. // Труды Чкаловского института эпидемиологии и микробиологии им. И. И. Мечникова. – Чкалов, 1947. – Т. 2 – С. 45–54.

23. Хроматографический метод определения токсичности зерна, пораженного фузариум споротрихиелла / Л. Е. Олифсон, Ш. М. Кенина, В. Л. Карташова, К. Г. Галкович // Вопросы питания. – 1975. – № 2. – С. 83–86.

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

1. Avshister O.D. Chelovek, operezhavshii vremya: vospominaniya o professore L. E. Olifson [A Man Ahead of Time: Memories of Professor L. E. Olifson] / Avshister O.D. – Orenburg: INEL Print, 2018. – 104 p. [In Russian]

2. Gabel O. Yu. Voprosy khimii yadovitykh veshchestv perezimovavshego prosa [Problems of Chemistry of Poisonous Substances of Wintered Millet] / Gabel O. Yu. // Trudy Chkalovskogo instituta epidemiologii i mikrobiologii im. I.I. Mechnikova [Proceedings of the Chkalovsky Institute of Epidemiology and Microbiology. I.I. Mechnikov]. – Chkalov, 1947. – Vol. 2 – P. 42–44. [In Russian]

3. Gubarev E. M. Khimicheskaya priroda i nekotorye fiziologicheskie svoystva yadov, obuslovlivayushchikh «septicheskuyu anginu» [Chemical Nature and Some Physiological Properties of Poisons Causing the "Septic Sore Throat"] / E. M. Gubarev, N. A. Gubareva // Biokhimiya [Biochemistry]. – 1945. – V. 10, No. 3. – P. 199–204. [In Russian]

4. Efremov V. V. Alimentarno-toksicheskaya aleikiya [Alimentary Toxic Aleikia] / Efremov V. V. – M.: Medgiz, 1948. – 120 p. [In Russian]

5. Kozlov N. S. Deistvie shchelochey na aromatische ketony [Action of Alkalis on Aromatic Ketones] / N. S. Kozlov, P. N. Fedoseev, L. E. Olifson // Zhurnal obshchey khimii [Journal of General Chemistry]. – 1936. – V. VI, Is. 2. – P. 259–264. [In Russian]

6. Kozlov N. Kondensatsiya atsetilena s aromatcheskimi aminami v prisutstvii  $Cu_2Br_2$  [Condensation of Acetylene with Aromatic Amines in the Presence of  $Cu_2Br_2$ ] / N. Kozlov, L. Olifson // Zhurnal obshchey khimii [Journal of General Chemistry]. – 1938. – V. VII, Is. 17. – P. 2301–2305. [In Russian]

7. Kretovich V. L. Issledovanie masla iz perezimovavshego v pole toksicheskogo prosa [Study of the Oil from Toxic Millet that Overwintered in the Field] / V. L. Kretovich, A. A. Bundel // Biokhimiya [Biochemistry]. – 1945. – V. 10, No. 3. – P. 216–224. [In Russian]

8. O biologicheskikh metodakh opredeleniya toksichnosti zerna, porazhennogo toksigennymi gribami [On Biological Methods for Determining the Toxicity of Grain Affected by Toxicogenic Fungi] / A. N. Zhilin, L. E. Olifson, Sh. M. Kenina, P. N. Perepelitsina // Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]. – 1969. – No. 4. – P. 58–61. [In Russian]

9. Olifson L.Ye. Shchelochnoe rassheplenie ketonov naftalinovogo riada [Alkaline Splitting of Naphthalene Ketones] / Olifson L.Ye. // Zhurnal obshchey khimii [Journal of General Chemistry]. – 1939. – V. IX, Is. 1. – P. 36–40. [In Russian]

10. Olifson L.Ye. Antiparaziticheskie preparaty na osnove ksantogenovykh soedinenii [Antiparasitic Drugs Based on Xanthogenic Compounds] / Olifson L.Ye. // Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]. – 1946. – No. 10. – P. 38–41. [In Russian]

11. Olifson L.Ye. Novye khimicheskie metody opredeleniya toksichnosti zlakovykh kultur [New Chemical Methods for Determining the Toxicity of Cereals] / Olifson L.Ye. // Report on the Scientific Work of Members of the All-Union Chemical Society named after D.I. Mendeleev. – M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1955. – Vol. 2. – P. 58–59. [In Russian]

12. Olifson L.Ye. O deistvii shchelochey na ketony : dis. ... kand. khim. nauk : zashchishhena 05.05.41: utv. 26.12.45 [On the Effect of Alkalis on Ketones: Thesis of PhD in Chemical Sciences: Defended on 05.05.41: Approved. 12.26.45] / Olifson, Lev Efimovich. - Minsk: BSU, 1941. [In Russian]

13. Olifson L.Ye. O perevedenii khromistogo zheleznyaka v rastvorimoe sostoyanie – poluchenie dubilnogo rastvora [On the Transfer of Chromic Iron Ore into a Soluble State - Obtaining a Tanning Solution] / Olifson L.Ye. // Vestnik Chkalovskogo otdeleniya Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva [Bulletin of the Chkalov Branch of the All-Union Chemical Society named after D.I. Mendeleev]. – Chkalov, 1948 [1949]. – Vol. II. – P. 29–33. [In Russian]

14. Olifson L.Ye. O primenении reaktsii kondensatsii atsetilena s aromatcheskimi aminami dlia sinteza lekarstvennykh preparatov [On the Use of Acetylene Condensation with Aromatic Amines for the Synthesis of Drugs] / Olifson L.Ye. // VI Nauchnaya konferentsiya (12-13 marta 1949 g.): programma i tez. dokl [VI Scientific Conference (March 12-13, 1949): Program and Notes of the Report] – Chkalov, 1949. – P. 5 [In Russian]

15. Olifson L.Ye. O khimicheskoi deyatelnosti nekotorykh plesnevnykh gribov na perezimovavshikh zlakakh [On the Chemical Activity of Some Mold Fungi on Overwintered Cereals] / Olifson L.Ye. // Vestnik Chkalovskogo otdeleniya Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva [Bulletin of the Chkalov Branch of the All-Union Chemical Society named after D.I. Mendeleev]. – Chkalov, 1957. – Vol. VII. – P. 37–46. [In Russian]

16. Olifson L.Ye. Spektrograficheskoe issledovanie produktov khimicheskoi deyatelnosti gribov fusarium sporotrikiella [Spectrographic Study of the Products of the Chemical Activity of Fungi Fusarium Sporotrichiella] / Olifson L.Ye. // Zhurnal Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva [Journal of the All-Union Chemical Society named after D.I. Mendeleev]. – 1962. – Vol. 7, No. 1. – P. 109–110. [In Russian]

17. Olifson L.Ye. Sposob prigotovleniya dymoobrazuyushchikh sostavov: a. s. № 5062 [Method of Preparation of Smoke-Generating Compositions: a. s. No. 5062] / L. E. Olifson, V. M. Kogan (USSR). – Priority 10/13/1943 [In Russian]

18. Olifson L.Ye. Sposoby obezvrezhivaniya zerna, porazhennogo gribami fusarium sporotrikiella [Methods of Neutralization of Grain Affected by the Fungi Fusarium Sporotrichiella] / Olifson L.Ye. // Sel'skoye khozyaystvo Povolzh'ya [Agriculture of the Volga region]. – 1960. – No. 11. – P. 49. [In Russian]

19. Olifson L.Ye. Toksicheskie veshchestva, vydelennyye iz zlakovykh kultur, perezimovavshikh v pole, i ikh khimicheskaya priroda [Toxic Substances Isolated from Cereals Wintered in the Field and Their Chemical Nature] / Olifson

L.Ye.// Vestnik Chkalovskogo otdeleniya Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva [Bulletin of the Chkalov Branch of the All-Union Chemical Society named after D.I. Mendeleev]. – Chkalov, 1957. – Vol. VII. – P. 21–35. [In Russian]

20. Olifson L. Ye. Khimicheskie i biologicheskie svoystva yadovitykh veshchestv zerna, porazhennogo gribami Fusarium sporotrichiella: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk [Chemical and Biological Properties of Toxic Substances of Grain Affected by the Fusarium Sporotrichiella Fungi: Thesis Abstract of Phd in Biology] / Olifson Lev Efimovich. – M.: MTIPP, 1965. – 35 p. [In Russian]

21. Olifson Lev Yefimovich (k 100-letiyu so dnia rozhdeniya): biobibliograficheskii ukazatel [Olifson Lev Efimovich (on the 100th anniversary of his birth): Biobibliographic Index] / comp.: T. V. Tsiryulnik, T. V. Dementieva; ed., authors of the entry art. and scientific consultant O. D. Avshister; ORSMA. – Orenburg, 2014. – 77 p. – (Scientists of the Orenburg State Medical Academy). [In Russian]

22. Svoiskaya V.D. Opyty izolirovaniya yadovitykh veshchestv iz perezimovavshego prosa [Experiments in Isolating Toxic Substances from Overwintered Millet] / Svoiskaya V.D.// Trudy Chkalovskogo instituta epidemiologii i mikrobiologii im. I. I. Mechnikova [Proceedings of the Chkalovsky Institute of Epidemiology and Microbiology. I.I. Mechnikov]. – Chkalov, 1947. – Vol. 2 – P. 45–54. [In Russian]

23. Khromatograficheskii metod opredeleniya toksichnosti zerna, porazhennogo fuzarium sporotrichiella [Chromatographic Method for the Determination of the Toxicity of Grain Affected by the Sporotrichella Fusarium] / L. E. Olifson, Sh. M. Kenina, V. L. Kartashova, K. G. Galkovich // Voprosy pitaniya [Questions of Nutrition]. – 1975. – No. 2. – P. 83–86. [In Russian]

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.019>

**ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ НОВЫХ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОГРАММЫ У КРЫС**

Научная статья

**Швец И.<sup>1</sup>, Пантеа В.<sup>2</sup>, Гинда С.<sup>3</sup>, Михальчук О.<sup>4</sup>, Цапков В.<sup>5</sup>, Аурелиан Г.<sup>6</sup>, Гудумак В.<sup>7</sup>\***

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6059-1170;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8835-6612;

<sup>1,2</sup> Государственный университет медицины и фармации им. Н. Местемицану, Кишинёв, Республика Молдова;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-6458-4223,

Институт фтизиопневмологии "Кирилл Драганюк", Кишинёв, Республика Молдова;

<sup>4</sup> ORCID: 0000-0003-1716-6309,

Государственный университет медицины и фармации им. Н. Тестемицану, Кишинёв, Республика Молдова;

<sup>5</sup> ORCID: 0000-0003-1732-3116;

<sup>6</sup> ORCID: 0000-0003-2010-7959;

<sup>5,6</sup> Молдавский Государственный Университет, Кишинёв, Республика Молдова;

<sup>7</sup> ORCID: 0000-0001-9773-1878,

Государственный университет медицины и фармации им. Н. Тестемицану, Кишинёв, Республика Молдова

\* Корреспондирующий автор (valentin.gudumac[at]usmf.md)

**Аннотация**

Проанализировали влияние ряда новых координационных соединений меди, производных аллилтиосемикарбазонов - CMG-41, TIA-123, TIA-160 и производных фенилтиосемикарбазонов - CMT-67, CMC-34, CMJ-33 на показатели гемограммы периферической крови у крыс при парентеральном введении в подострых опытах. Анализ преобладающего вектора действия показал, что производные аллилтиосемикарбазонов - CMG-41, TIA-123, TIA-160 оказывают умеренное стимулирующее влияние, а производные фенилтиосемикарбазонов - CMT-67, CMC-34, CMJ-33, оказывают слабо выраженное депрессирующее влияние на исследуемые параметры гомеостаза, причем наибольший вектор депрессирующего влияния (66% от показателя контроля) оказал препарат CMT-67. Однако, эти изменения были статистически не достоверными. Установлено стимулирующее влияние препарата TIA-160 на показатель тромбокрита - индекс PCT ( $p < 0,05$ ).

Результаты этого исследования показывают, что координационные соединения меди (аллилтиосемикарбазинные производные - CMG-41, TIA-123, TIA-160) и фенилтиосемикарбазинные производные - CMT-67, CMC-34, CMJ-33) на все изученные параметры лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов (WBC, RBC, HCT, MCV, PLT, MPV, P-LCR, PCT) не оказывали повреждающего действия, что вселяет надежду на положительный эффект при более глубоком исследовании влияния этих препаратов на иммунологическую реактивность, воспалительные реакции и другие биохимические процессы, происходящие в организме.

**Ключевые слова:** координационные соединения меди, гемограмма, параметры лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов.

**INFLUENCE OF CERTAIN NEW COORDINATION COPPER COMPOUNDS ON HEMOGRAM INDICATORS IN RATS**

Research article

**Shvets I.<sup>1</sup>, Panthea V.<sup>2</sup>, Ginda S.<sup>3</sup>, Mikhanchuk O.<sup>4</sup>, Tsapkov V.<sup>5</sup>, Gulya A.<sup>6</sup>, Gudumak V.<sup>7</sup>\***

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6059-1170;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8835-6612;

<sup>1,2</sup> Testemitanu State University of Medicine and Pharmacy, Chisinau, Republic of Moldova;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-6458-4223,

Institute of Phthisiopneumology "Cyril Draganiuc", Chisinau, Republic of Moldova;

<sup>4</sup> ORCID: 0000-0003-1716-6309,

Testemitanu State University of Medicine and Pharmacy, Chisinau, Republic of Moldova;

<sup>5</sup> ORCID: 0000-0003-1732-3116;

<sup>6</sup> ORCID: 0000-0003-2010-7959;

<sup>5,6</sup> Moldavian State University, Chisinau, Republic of Moldova;

<sup>7</sup> ORCID: 0000-0001-9773-1878,

Testemitanu State University of Medicine and Pharmacy, Chisinau, Republic of Moldova

\* Corresponding author (valentin.gudumac[at]usmf.md)

**Abstract**

The authors have analyzed the effect of several new coordination compounds of copper, derivatives of allylthiosemicarbazones – CMG-41, TIA-123, TIA-160 and derivatives of phenylthiosemicarbazones – CMT-67, CMC-34, CMJ-33 on the hemogram of peripheral blood in rats when administered parenterally in subacute experiments. Analysis of the predominant action vector showed that the derivatives of allylthiosemicarbazones – CMG-41, TIA-123, TIA-160 have a moderate stimulating effect, and the derivatives of phenylthiosemicarbazones – CMT-67, CMC-34, CMJ-33, have a weakly

expressed depressive effect on the studied parameters of homeostasis, with the highest vector of depressing impact (66% of the control index) had CMT-67. However, these changes were not statistically significant. The stimulating effect of TIA-160 on the thrombocytosis index – PCT index ( $p < 0.05$ ) was established.

The results of this study show that coordination copper compounds (allylthiosemicarbazine derivatives – CMG-41, TIA-123, TIA-160 and phenylthiosemicarbazine derivatives – CMT-67, CMC-34, CMJ-33) for all the studied parameters of leukocytes, erythrocytes, platelets (WBC, RBC, HCT, MCV, PLT, MPV, P-LCR, PCT) did not have a damaging effect, which gives hope for a positive effect with a more in-depth study of the effect of these drugs on immunological reactivity, inflammatory reactions and other biochemical processes occurring in the body.

**Keywords:** copper coordination compounds, hemogram, leukocyte, erythrocyte, platelet parameters

### Актуальность исследования

Поиск новых, безвредных средств профилактики и лечения различных заболеваний, в частности онкологических заболеваний, представляет всегда особый интерес. Длительное лечение, особенно при хронических состояниях, может сопровождаться риском развития различных осложнений со стороны органов кроветворения – гемопоэза. В последние несколько лет особый интерес представляет изучение металлоорганических координационных соединений, синтезированных на кафедре неорганической химии Молдавского Государственного Университета РМ, в связи с их противоопухолевыми, антимикробными, иммуномодулирующими и антиоксидантными свойствами. В исследованиях последних лет выявлены тесные функциональные взаимосвязи между системой иммунитета и гемограммой практически во всех физиологических и патологических процессах. Сегодня не вызывают сомнения факты, подтверждающие роль эритроцитов и тромбоцитов в воспалительных реакциях, а нейтрофилы принимают участие в свертывании крови и фибринолизе. Как реакция стресса, так и воспаление сопровождаются содружественной реакцией всех систем биологической защиты человека - системы иммунитета, гемостаза, комплемента, фагоцитоз и других. Поэтому причиной разнообразия течения воспалительных реакций является то или иное соотношение активности факторов систем биологической защиты.

Установлено, что зрелые эритроциты и тромбоциты несут на себе рецепторы, которые позволяют им, скорее всего неспецифически, сорбировать, концентрировать и модифицировать различные биологические активные вещества (бактерии, антигены, митогены, медиаторы, гормоны и т.п.) и, представляя их лимфоцитам и макрофагам, оказывать воздействие на лимфопролиферацию, фагоцитоз, доиммунные реакции, то есть на иммунный ответ в целом, что подтверждает важную роль этих клеток в регуляции иммуногенеза [2], [1].

Воспалительные реакции играют ключевую роль на разных стадиях опухолевого процесса – в канцерогенезе, прогрессировании и метастазировании, а также в устойчивости к лечению, а тромбоциты, кроме влияния на гемостаз - модулируют воспалительные реакции и иммунный ответ, усиливая фагоцитарные реакции и обладают бактерицидной активностью.

Вместе с тем влияние новых металлоорганических координационных соединений на здоровый организм, в том числе на показатели периферической крови не было изучено.

### Цель исследования

изучение влияния ряда новых отечественных координационных соединений меди на показатели гемограммы периферической крови у крыс при парентеральном введении в подострых опытах.

### Материалы и методы

В эксперименте было использовано 60 половозрелых крыс самцов линии Wistar с массой тела 130–230 г.

Исследование было одобрено Комитетом по этике исследований ГУМФ «Николае Тестемичану» (положительное заключение № 43 от 18.06.2015).

Животные содержались в стандартных условиях вивария и были разделены на следующие группы:

- контрольная группа – 6 практически здоровых животных;
- опытная группа включала 54 животных, которым вводились 9 биологически активных препаратов.

Препараты классифицировались по следующим группам:

- производные аллилтиосемикарбазонов - CMG-41, TIA-123, TIA-160;
- производные фенилтиосемикарбазонов - CMT-67, CMC-34, CMJ-33.

Исследуемые вещества растворялись в физиологическом растворе в необходимом объёме и вводились животным ежедневно *внутримышечно* в течение 30 дней. Дозировка препаратов составила 1,0 mg вещества на 1 kg массы тела животного.

На 31 день эксперимента животные были умерщвлены согласно этическим нормам и требованиям к работе с лабораторными животными. Материал для исследования – периферическая кровь была собрана в пробирки, которые содержали в качестве антикоагулянта раствор 6%  $K_4$ -EDTA с pH 7,4. Гемограмма была исследована с помощью гемоанализатора PCE-210, фирма ERMA, Япония.

Полученные количественные данные оценивались методами описательной статистики: подсчитывались средние значения и стандартные отклонения. Межгрупповые различия анализировали непараметрическими методами с использованием критерия Манн-Уитни, а также критерия Стьюдента. Различия определяли при уровне значимости 0,05.

### Результаты и обсуждения исследования

Для начала мы проанализировали вектор действия изучаемых препаратов:

- ✓ стимулирующее влияние – увеличение показателя до 120% от показателя контроля;
- ✓ депрессирующее влияние - уменьшение показателя до 80% от показателя контроля;
- ✓ без влияния – показатель в пределах от 80 до 120%% от показателя контроля.

Таким образом (таблица 1), препараты производных аллилтиосемикарбазонов - СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160 в 33,3% случаях оказывали влияние с вектором в сторону стимуляции, не отмечено ни одного случая вектора действия в сторону депрессии и, в 66,7% случаев исследуемые препараты не влияли на изучаемые показатели.

Производные фенилтиосемикарбазонов - СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33, наоборот, в 4,2% случаев имели вектор влияния в сторону депрессии, в 95,8% случаев исследуемые препараты не влияли на изучаемые показатели, и ни в одном случае не отмечено вектора влияния в сторону стимуляции.

Таблица 1 – Вектор действия исследуемых препаратов

Координационные соединения	Вектор действия		
	80% и меньше	в границах 80-120%%	120% и больше
Производные аллилтиосемикарбазонов - СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160 (в абс.ч, и %)	0 (0%)	16 (66,7%)	8 (33,3%)
Производные фенилтиосемикарбазонов - СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33 (в абс.ч, и %)	1 (4,2%)	23 (95,8%)	0 (0%)

Это позволяет нам сделать предварительный вывод, что производные аллилтиосемикарбазонов - СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160 оказывают умеренное стимулирующее влияние на исследуемые параметры гемограммы, а производные фенилтиосемикарбазонов - СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33, оказывают слабо выраженное депрессирующее влияние на исследуемые параметры гемограммы.

Таблица 2 – Влияние координационных соединений меди (аллилтиосемикарбазинового производных) на показатели гемограммы у крыс

Показатели гемограммы	Группы исследованных животных			
	Контроль	СМГ-41	ТИА-123	ТИА-160
WBC, $1 \cdot 10^9/L$	13,7±1,38	17,0±4,4	15,4±2,9	15,3±3,1
%	100	124	113	112
RBC, $1 \cdot 10^{12}/L$	6,87±0,97	8,26±0,8	8,25±0,3	6,66±1,0
%	100	120	120	97
HCT	35,4±4,8	39,0±1,2	42,0±1,3	37,0±5,1
%	100	110	117	105
MCV, п	52,0±1,0	52,0±1,2	50,4±0,8	56,4±2,8
%	100	100	97	109
PLT, $1 \cdot 10^9/L$	581,3±58,1	702,8±96,4	594,8±45,3	748,4±70,1
%	100	121	102	129
MPV	6,37±0,02	6,46±0,12	6,26±0,08	6,36±0,20
%	100	102	98,3	99,8
P-LCR	3,50±0,17	4,24±0,62	3,40±0,30	3,58±0,65
%	100	121	97	103
PCT	0,18±0,02	0,23±0,03	0,19±0,01	0,24±0,02 *
%	100	126	105	133

Примечание: \* - достоверная разница по сравнению с показателями контроля  $p < 0,05$

Результаты эксперимента (таблица 2) показали, что все три координационные соединения меди (аллилтиосемикарбазинового производные – СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160) на содержание лейкоцитов (WBC) действовали стимулирующим образом. Влияние (таблица 2) координационных соединений меди (фенилтиосемикарбазинового производных - СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33) изменялось и в сторону увеличения (СМС-34) и в сторону снижения (СМТ-67; СМЖ-33). Наибольшее стимулирующее влияние (124% от показателя контроля) оказал препарат СМГ-41 и наибольшее депрессирующее влияние (66% от показателя контроля) оказал препарат СМТ-67. Однако, все эти изменения были статистически недостоверными.

Координационные (таблица 2) соединения меди (аллилтиосемикарбазинового производные – СМГ-41, ТИА-123) на содержание эритроцитов (RBC) действовали стимулирующим образом, а препарат (ТИА-160) – депрессирующим образом. Влияние (таблица 3) всех трех координационных соединений меди (фенилтиосемикарбазинового производные - СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33) изменялось и в сторону увеличения. Наибольшее стимулирующее влияние (120% от показателя контроля) оказал препараты СМГ-41 и ТИА-123, наибольшее депрессирующее влияние (97% от показателя контроля) оказал препарат ТИА-160. Статистическая достоверность изменения параметров не обнаруживалась.

Таблица 3 – Влияние координационных соединений меди (фенилтиосемикарбазинового производного) на показатели гемограммы у крыс

Показатели гемограммы	Группы исследованных животных			
	Контроль	СМТ-67	СМС-34	СМЖ-33
<b>WBC, 1·10<sup>9</sup>/L</b>	13,7±1,4	9,0±3,2	15,5±1,7	12,0±2,1
%	100	66	113	88
<b>RBC, 1·10<sup>12</sup>/L</b>	6,87±0,97	7,73±0,5	7,0±0,6	7,1±0,6
%	100	113	115	103
<b>HCT</b>	35,4±4,8	39,7±1,5	41,8±3,1	36,6±2,1
%	100	112	118	103
<b>MCV, fl</b>	52,0± 1,0	51,6±1,5	53,0±0,5	51,8±1,0
%	100	99	102	100
<b>PLT</b>	581,3±58,1	684,0±73,5	530,8±23,1	592,4±46,1
%	100	118	91	102
<b>MPV, fl</b>	6,37±0,02	6,20±0,15	6,36±0,07	6,48±0,07
%	100	97	99,8	102
<b>P-LCR</b>	3,50± 0,17	3,43±0,76	3,58± 0,30	3,86±0,32
%	100	98	102	110
<b>PCT, %</b>	0,18±0,02	0,21±0,02	0,17± 0,01	0,19±0,01
%	100	117	94	107

Под термином гематокрит (HCT) подразумевается показатель, который определяет отношение суммарного объема всех форменных элементов (эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов) к общему объему крови. Все изученные препараты как аллилтиосемикарбазинового производного меди – СМГ-41, ТИА-123, так и фенилтиосемикарбазинового производного – СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33 (таблица 3) действовали на показатели гематокрита стимулирующим образом. Наиболее сильное действие оказал препарат СМС-34 (118% от показателя контроля), а самое слабое действие – препарат СМЖ-33 (103% от показателя контроля), без статистической достоверности изменений показателей.

Испытываемые препараты обеих групп практически не влияют на такой показатель как MCV – средний объем эритроцита, который варьирует в пределах нормы. Наиболее сильное действие оказал препарат ТИА-160 (109% от показателя контроля), а самое слабое действие – препарат ТИА-123 (97% от показателя контроля), но эти изменения не достигали степени достоверности.

Проведенные исследования показали, что все три координационные соединения меди (аллилтиосемикарбазинового производного – СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160) на содержание тромбоцитов (PLT) действовали стимулирующим образом. Влияние (таблица 2-3) координационных соединений меди (фенилтиосемикарбазинового производного – СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33) изменялось и в сторону снижения (СМС-34) и в сторону повышения (СМТ-67; СМЖ-33). Наибольшее стимулирующее влияние (129% от показателя контроля) оказал препарат ТИА-160 и наибольшее депрессирующее влияние (91% от показателя контроля) оказал препарат СМС-34. Однако, все эти изменения были статистически не достоверными.

Индекс MPV (средний объем тромбоцитов), который характеризует зрелость кровяных пластинок (таблица 2-3), сильно не отклонялся от аналогичного показателя у здоровых (в пределах 3-2% как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения).

Индекс P-LCR (доля увеличенных тромбоцитов по отношению к клеткам нормального размера, в %) также сильно не отклонялся от аналогичного показателя у здоровых (в пределах 21% как в сторону увеличения, и 3% в сторону уменьшения), без статистической достоверности изменений показателей.

Индекс PCT (тромбоцит, доля объема цельной крови, занимаемую тромбоцитами в %) по данным проведенного эксперимента (таблица 2) показал, что все три координационных соединения меди (аллилтиосемикарбазинового производного – СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160) на PCT действовали стимулирующим образом. Здесь следует отметить, что стимулирующее влияние препарата ТИА-160 было достоверно значимым ( $p < 0,05$ ). Влияние (таблица 3) координационных соединений меди (фенилтиосемикарбазинового производного – СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33) изменялось и в сторону снижения (СМС-34) и в сторону повышения (СМТ-67; СМЖ-33). Наибольшее стимулирующее влияние (133% от показателя контроля) оказал препарат ТИА-160 и наибольшее депрессирующее влияние (94 от показателя контроля) оказал препарат СМС-34. Однако, все эти изменения изучаемых параметров были статистически не достоверными.

### Заключение

Поскольку между показателями иммунитета и гомеостазом существуют тесные функциональные взаимосвязи, мы проанализировали влияние производных аллилтиосемикарбазонового производного меди – СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160 и производных фенилтиосемикарбазонового производного меди – СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33 на показатели (лейкоциты, эритроциты, тромбоциты) гемограммы периферической крови у крыс при парентеральном введении в подострых опытах. В основном мы остановились на показателях, характеризующих количество, объем, форму эритроцитов и тромбоцитов, как цельных клеток, которые могли бы функционировать и взаимодействовать с остальными клетками организма (как иммунными, так и не иммунными). Экспресс анализ преобладающего вектора действия показал, что производные аллилтиосемикарбазонового производного меди – СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160 оказывают умеренное стимулирующее влияние на исследуемые параметры гомеостаза, а производные фенилтиосемикарбазонового производного меди – СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33, оказывают слабо выраженное депрессирующее влияние на исследуемые параметры гемограммы.

Более подробный анализ каждого изучаемого показателя показал, что координационные соединения меди (аллилтиосемикарбазинные производные - СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160) оказывали влияние только на один показатель - индекс РСТ (тромбокрит), причем препарат ТИА-160 оказал стимулирующее влияние ( $p < 0,05$ ). Координационные соединения меди (фенилтиосемикарбазинные производные - СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33) на показатели гемограммы у крыс наибольший вектор депрессирующего влияния (66% от показателя контроля) оказал препарат СМТ-67. Однако, эти изменения были статистически не достоверными.

Следовательно, координационные соединения меди (аллилтиосемикарбазинные производные - СМГ-41, ТИА-123, ТИА-160 и фенилтиосемикарбазинные производные - СМТ-67, СМС-34, СМЖ-33) на все изученные параметры лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов (WBC, RBC, HCT, MCV, PLT, MPV, P-LCR, PCT) не оказывали повреждающего действия. Это вселяет надежду на положительный эффект при более глубоком исследовании влияния этих препаратов на иммунологическую реактивность, воспалительные реакции и другие биохимические процессы, происходящие в организме.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Кирдей Е.Г. Роль эритроцитов в регуляции и реализации иммунного ответа. Сибирский медицинский журнал / Кирдей Е.Г., Дмитриева Л.А.. 1995, том 3-4, стр. 5-8
2. Оборин В. А. Бактериофиксирующая активность эритроцитов в отношении вакцинных штаммов возбудителей чумы, сибирской язвы, туляремии, бруцеллеза и обоснование ее роли в патогенезе данных заболеваний. Дисс., д.м.н. Оборин В. А. 2011, 261 с. URL:<http://www.dissercat.com/content/bakteriofiksiryushchaya-aktivnost-eritrotsitov-v-otnoshenii-vaktsinnykh-shtamnov-vozbuditel>
3. Обухова О.А. Профилактика тромбозов в онкогинекологии. Онкогинекология / Обухова О.А., Кашия Ш.Р., Курмуков И.А. 2013;2:64-72.
4. Свиридова С.П. Роль тромбоцитов в воспалении и иммунитете. Исследования и практика в медицине / Свиридова С.П., Сомонова О.В., Кашия Ш.Р. т др. 2018, т.5, №3, с. 40-52
5. Туев А.В. Бронхиальная астма (иммунитет, гемостаз, лечение) . Туев А.В., Мишланов В.Ю. Пермь, 2000. 261 с.
6. Hurley S.M. Platelet-dependent neutrophil function is dysregulated by M protein from *Streptococcus pyogenes* / Hurley SM, Kahn F, Nordenfelt P. and others. *Infect Immun.* 2015 Sep;83(9):3515-25.
7. Jenne C.N. Platelets: bridging hemostasis, inflammation, and immunity / Jenne CN, Urrutia R, Kubes P. *Int J Lab Hematol.* 2013 Jun;35(3):254-61.
8. Karin M. Nuclear factor-kappa B in cancer development and progression / Karin M.. *Nature.* 2006 May 25;441(7092):431-6.
9. Kerrigan S.W. Platelet-bacterial interactions / Kerrigan SW, Cox D. *Cell Mol Life Sci.* 2010 Feb;67(4):513-23.
10. Tang Y.Q. Antimicrobial peptides from human platelets / Tang YQ, Yeaman MR, Selsted ME.. *Infect Immun.* 2002 Dec;70(12):6524-33.

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

1. Kirdey E.G. Rol' eritrotsitov v regulyatsii i realizatsii immunnogo otveta [The Role of Red Blood Cells in Regulation and Implementation of Immune Response] / Kirdey E.G., Dmitrieva L.A. // *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal [Siberian Medical Journal]*. – 1995, – Vol. 3-4, – P. 5-8 [In Russian]
2. Oborin V. A. Bakteriofiksiryushchaya aktivnost' eritrotsitov v otnoshenii vaktsinnykh shtamnov vozbuditeley chumy, sibirskoy yazvy, tulyaremii, brutselleza i obosnovaniye yeye roli v patogeneze dannykh zabolevaniy [Bacteria Fixing Activities of Erythrocytes in Relation to Vaccine Strains of Plague Pathogens, Anthrax, Tularemia, Brucellosis and Justification of Their Role in the Pathogenesis of These Diseases] / Oborin V. A. // Thesis of PhD in Medicine. – 2011, - 261 p. URL: <http://www.dissercat.com/content/bakteriofiksiryushchaya-aktivnost-eritrotsitov-v-otnoshenii-vaktsinnykh-shtamnov-vozbuditel> [In Russian]
3. Obukhova O.A. Profilaktika trombozov v onkoginekologii [Thrombosis Prevention in Gynecological Oncology] / Obukhova, OA, Kashiya, Sh.R., Kurmukov, IA // *Onkoginekologiya [Oncogynecology]* 2013; 2: P. 64-72. [In Russian]
4. Sviridova S.P. Rol' trombotsitov v vospalenii i immunitete. [The Role of Platelets in Inflammation and Immunity] / Sviridova S.P., Somonova O.V., Kashiya Sh.R. and others // *Issledovaniya i praktika v meditsine [Research and Practice in Medicine]*. – 2018, – V.5, – No. 3, – P. 40-52 [In Russian]
5. Tuev A.V. Bronkhial'naya astma (immunitet, gemostaz, lecheniye) [Bronchial Asthma (Immunity, Hemostasis, Treatment)] / Tuev A.V., Mishlanov V.Yu. – Perm, – 2000. – 261 p. [In Russian]
6. Hurley S. Platelet-dependent neutrophil function is dysregulated by M protein from *Streptococcus pyogenes*. *Infect Immun / Hurley S., Kahn F., Nordenfelt P. and others.* 2015 Sep;83(9):3515-25.
7. Jenne C. Platelets: bridging hemostasis, inflammation, and immunity / Jenne C., Urrutia R., Kubes P. *Int J Lab Hematol.* 2013 Jun;35(3):254-61.
8. Karin M. Nuclear factor-kappa B in cancer development and progression. *Nature / Karin M.* 2006 May 25;441(7092):431-6.
9. Kerrigan S.W. Platelet-bacterial interactions / Kerrigan SW, Cox D.. *Cell Mol Life Sci.* 2010 Feb;67(4):513-23.
10. Tang Y. Antimicrobial peptides from human platelets / Tang Y., Yeaman M., Selsted M. *Infect Immun.* 2002 Dec;70(12): 6524-33

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.020>

## К ВОПРОСАМ КЛИНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГАЛЯЦИОННОЙ АНЕСТЕЗИИ ПРИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ ТРАВМАХ У ДЕТЕЙ.

Научная статья

Караваяева А.В.<sup>1,\*</sup>, Аймакаева Ж.М.<sup>2</sup>, Дробкова А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID 0000-0001-5933-357X,

<sup>1, 2, 3</sup> НАО Медицинский университет Караганды, Караганда, Республика Казахстан

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

### Аннотация

В структуре травм детского возраста ведущее значение и наиболее часто встречаемыми являются черепно-мозговые травмы, осложненные субдуральной и внутримозговой гематомами. В работе проведена ретроспективная оценка медицинских карт детей в возрасте от 5 до 7 лет, поступивших в экстренном порядке с клиникой черепно-мозговой травмы. В работе представлены показатели основных паттернов дыхания и гемодинамики, минимальной альвеолярной концентрации, которые отражают эффективность проведенной ингаляционной анестезии во время операции.

**Ключевые слова:** черепно-мозговые травмы у детей, ингаляционная анестезия, минутная вентиляция легких, минимальная альвеолярная концентрация

## TO THE ISSUES OF CLINICAL EFFICIENCY OF INHALATION ANESTHESIA IN CEREBRAL INJURIES OF CHILDREN

Research article

Karavaeva A.V.<sup>1,\*</sup>, Aymakaeva Zh.M.<sup>2</sup>, Drobkova A.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID 0000-0001-5933-357X,

<sup>1, 2, 3</sup> Medical University of Karaganda, Karaganda, Republic of Kazakhstan

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

### Abstract

Cerebral injuries, complicated by subdural and intracerebral hematomas play the leading role in the structure of childhood injuries, they are the most frequently encountered injuries. The work presents a retrospective assessment of medical records of children aged 5 to 7 years who were admitted on an emergency basis with a clinic of traumatic brain injury. The paper presents the indicators of the main patterns of respiration and hemodynamics, the minimum alveolar concentration, which reflect the effectiveness of inhaled anesthesia during the operation.

**Keywords:** traumatic brain injuries in children, inhalation anesthesia, minute lung ventilation, minimal alveolar concentration

### Введение

Черепно-мозговые травмы (ЧМТ) являются одной из наиболее распространенных патологий детского возраста. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) за 2008 год встречаемость ЧМТ составляет 1,8-5,4 случаев на 1000 детей, при этом ежегодно наблюдается рост данного показателя в среднем на 2% [2]. В Республике Казахстан, по данным 2012 года, среди всех травматических повреждений, на ЧМТ у детей приходится от 22% до 50% случаев [1]. Причина ЧМТ в основном зависит от возраста ребенка. Преобладающими причинами несчастных случаев у детей в возрасте от 5 до 7 лет являются дорожно-транспортные происшествия – 31,3% и бытовые травмы – 26,5%, остальная часть приходится на высотные травмы, спортивный травматизм и другое.

Также от возраста ребенка зависит течение и прогноз ЧМТ, на это влияют возрастные анатомо-физиологические особенности организма, разной степени незрелость структур головного мозга и черепа, эндокринной и иммунной систем. Особенности травм центральной нервной системы (ЦНС) у детей 5-7 лет в первую очередь является стертость очаговой и неврологической симптоматики, а также короткий острый период травмы, что зачастую формирует представление о мнимом благополучии пациента и таким образом создаёт определенные трудности в диагностике и определении степени тяжести ЧМТ [5], [6], [10]. При этом стоит учесть, что более 50% детей имеют осложнения ЧМТ [3], [4], в независимости от тяжести полученной травмы, к которым чаще всего относятся эпидуральные, субдуральные и внутримозговые гематомы. Наибольшую частоту встречаемости составляет субдуральная гематома, в структуре всех видов гематом на её долю приходится до 58% [7], а также внутримозговая гематома, которая занимает второе место с 21% [7]. Летальность при травматических внутричерепных гематомах составляет 9,8%, при наличии внутримозговых гематом до 28-43,7% [7].

Основную роль в исходе ЧМТ у детей занимает степень ее тяжести. В большинстве своём у детей преобладает легкая степень тяжести ЧМТ – 80%, в то время как доля ЧМТ тяжелой степени составляет 16,3% [1], [10]. Нередко, последствиями ЧМТ, бывают когнитивные и поведенческие нарушения, приводящие к трудностям социальной адаптации, а также нарушения координации и двигательной активности, что, зачастую в последующем определяет степень инвалидизации ребёнка [9]. Несмотря на это у 55% детей с ЧМТ отмечается благоприятный исход [9], даже после тяжелых клинических вариантов ЧМТ, благодаря высокой пластичности развивающегося головного мозга [3], [6].

Интенсивная терапия ЧМТ проводится в соответствии со степенью тяжести травмы, подтвержденной анамнезом, клиническими данными, неврологическим статусом и инструментальными методами диагностики: магнитно-резонансная томография (МРТ), компьютерная томография (КТ) головного мозга [4], [6].

С целью улучшения исходов и прогнозов травмы, при обнаружении локализованных внутричерепных гематом и наличия дислокационного синдрома, требуется экстренное оперативное вмешательство. Интраоперационная сложность, высокий операционно-анестезиологический риск, необходимость безопасности и управляемости анестезии с возможностью коррекции внутричерепного давления (ВЧД), являются основными задачами анестезиологического обеспечения [4], [8].

Ввиду актуальности данной проблемы, целью и задачами нашего исследования явился анализ клинической эффективности ингаляционной анестезии при ЧМТ, осложненных субдуральной и внутримозговой гематомами у детей.

**Материалы и методы.** Проведена ретроспективная оценка медицинских карт пациентов в возрасте от 5 до 7 лет, поступивших в стационар в экстренном порядке по поводу ЧМТ (n=21). По данным анамнеза, травма носила бытовой характер (n=7) и явилась следствием дорожно-транспортного происшествия (n=14). После проведенного МРТ исследования у 18 детей была диагностирована субдуральная гематома, у 3 внутримозговая.

Для оценки эффективности ингаляционной анестезии нами во внимание принимались следующие показатели: частота дыхания (ЧД), дыхательный объем (ДО), минутная вентиляция легких (МВЛ), сатурация гемоглобина крови (SpO<sub>2</sub>), минимальная альвеолярная концентрация (МАК), частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД). Респираторная поддержка и ингаляционная анестезия в интраоперационном периоде осуществлялась наркозно-дыхательными аппаратами Dräger Fabius, Siesta i Whispa с применением анестетика севофлурана в режиме вентиляции легких с контролем по объему (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation - SIMV). Анализ статистических данных проводился с использованием пакета программ MS Office Excel 2007.

### Результаты и обсуждения

В результате проведенного анализа было выявлено, что в 100% случаях оперативное вмешательство проводилось по экстренным показаниям, в связи с тяжестью травмы и наличием гематомы, клиникой нарастающего отека головного мозга.

Во время предоперационной подготовки была проведена противоотечная терапия с использованием осмотического диуретика маннитола в средней дозировке 0,25-1,0 мг/кг массы тела внутривенно капельно под контролем почасового диуреза. В премедикации у всех детей с целью купирования психомоторного возбуждения и дополнительной седации был использован брүзепам в дозе 0,3-0,4 мг/кг внутримышечно.

Индукция осуществлялась фентанилом в дозе 3-5 мкг/кг в сочетании с севофлураном через наружную лицевую маску в диапазоне 2,5-5,5 об% по данным показателя ротаметра. Интубация проводилась совместно с введением миорелаксанта средней продолжительности действия рокурония бромидом 0,6 мг/кг.

Основной этап анестезии осуществлялся непрерывным эндотрахеальным введением севофлурана с поддержанием его минимальной альвеолярной концентрации в пределах 2,5-2,6%, доза поддержания фентанила 3-5 мкг/кг каждые 30,0±2,0 минут. Средняя скорость подачи кислорода в течение всего периода ингаляционной анестезии составляла 2-3 л/мин, воздуха соответственно 3-2 л/мин. Средняя фракционная концентрация кислорода в вдыхаемой смеси (FiO<sub>2</sub>) составляла 35,0±0,5%.

Респираторная поддержка у всех больных сопровождалась оптимальными значениями основных паттернов дыхания, соответственно возрасту и весу ребенка (ЧД 24,0±1,3 дыхательных движений в минуту, ДО 180,0±3,5 мл, МВЛ 3,2±0,2 л/мин). SpO<sub>2</sub> в течении всей операции находилась в пределах 97,8±0,3%.

Гемодинамические показатели на протяжении всего периода анестезии и операции находились в пределах возрастной нормы. Средний уровень САД составил 109,0±2,5 мм.рт.ст., ДАД 66,0±0,3 мм.рт.ст., ЧСС 99,0±5,3 ударов в минуту.

Средняя продолжительность оперативного вмешательства составила 62,0±5,5 минут. Объем интраоперационной кровопотери – 60,0±8,0 мл.

После операции все дети были переведены в отделение реанимации на продленную искусственную вентиляцию лёгких с дальнейшим проведением интенсивной терапии.

### Заключение

Оптимальным и безопасным методом анестезиологического пособия при черепно-мозговых травмах у детей, осложненных субдуральной и внутримозговой гематомами, является ингаляционная анестезия, которая позволяет достаточно быстро достигнуть необходимой концентрации летучего или газообразного анестетика, а также обеспечить достаточный анальгетический эффект с наименьшим влиянием на сердечно - сосудистую систему.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность кафедре анестезиологии и реаниматологии НАО «Медицинский университет Караганды», в лице ассистента кафедры Васильевой Н.Н., за советы и ценные замечания при работе над данной статьей.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Acknowledgement

The authors are grateful and deeply grateful to the Department of Anesthesiology and Resuscitation of the Karaganda Medical University, represented by the assistant of the department Vasilyeva N.N., for advices and valuable comments during the work on this article.

### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Асилбеков У.Е. Клиника, диагностика и исходы тяжелой черепно-мозговой травмы у детей различных возрастных групп / У.Е. Асилбеков // Нейрохирургия и неврология Казахстана. – 2012. – №1-26. – С. 12-17
2. Всемирная Организация Здравоохранения [Электронный ресурс] / Anthrax in human and animals. Fourth edition WHO.2008. – URL: <http://www.who.int/csr/resources/publications/AnthraxGuidelines2008/en/index.html>
3. Горельшев С.К. Детская нейрохирургия: клинические рекомендации / под ред. С. К. Горельшева. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. - 256 с.: ил. - ISBN 978-5-9704-4098-8.
4. Заболотских И.Б. Клинические рекомендации. Анестезиология-реаниматология [Электронный ресурс] / под ред. И.Б. Заболотских, Е.М. Шифмана - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 960 с.: ил. - ISBN 978-5-9704-4036-0.
5. Крылов В.В. Нейрореаниматология: практическое руководство / В. В. Крылов - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. - 176 с.: ил. - (Серия "Библиотека врача-специалиста"). - ISBN 978-5-9704-4369-9.
6. Кэй А.Д. Детская анестезиология / А.Д. Кэй, Ч.Д. Фокс, Д.Х. Диас, перевод с английского под редакцией проф. С.М. Степаненко - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 648 с.
7. Лихтерман Л.Б. Черепно-мозговая травма. Диагностика и лечение / Л. Б. Лихтерман. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. - 488 с.: ил. - ISBN 978-5-9704-3104-7.
8. Мизиков В.М. Анестезиология. Национальное руководство. Краткое издание. / В.М. Мизиков, Бунятян А.А. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 656 с.: ил. - ISBN 978-5-9704-3953-1.
9. Немкова А.С. Диагностика и коррекция когнитивных нарушений у детей с последствиями черепно-мозговой травмы / С.А. Немкова, Н.Н. Заваденко, О.И. Маслова // Педиатрическая фармакология. – 2014. – Том 11 №3. – С. 54-60
10. Семенова Ж.Б. Рекомендации по лечению детей с черепно-мозговой травмой/ Ж.Б. Семенова, А.В. Мельников, И.А. Саввина // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии – 2016. – Том VI №2 – С. 112-131

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

1. Asilbekov U.E. Klinika, diagnostika i iskhody tyazheloy cherepno-mozgovoy travmy u detey razlichnykh vozrastnykh grupp [Clinic, Diagnosis and Outcomes of Severe Traumatic Brain Injury in Children of Different Age Groups] / U.E. Asilbekov // Neyrokhirurgiya i nevrologiya Kazakhstana [Neurosurgery and Neurology of Kazakhstan]. – 2012. – No.1-26. – P. 12-17 [In Russian]
2. World Health Organization [Electronic resource] / Anthrax in human and animals. Fourth edition WHO.2008. - URL: <http://www.who.int/csr/resources/publications/AnthraxGuidelines2008/en/index.html>
3. Gorelyshev S.K. Detskaya neyrokhirurgiya: klinicheskiye rekomendatsii [Pediatric Neurosurgery: Clinical Guidelines] / ed. by S.K. Gorelysheva. – М.: GEOTAR-Media, 2016. – 256 p.: Ill. – ISBN 978-5-9704-4098-8. [In Russian]
4. Zabolotskikh I.B. Klinicheskiye rekomendatsii. Anesteziologiya-reanimatologiya [Clinical Guidelines. Anesthesiology-Resuscitation [Electronic resource] / ed. by I.B. Zabolotskikh, E.M. Shifman – М.: GEOTAR-Media, 2016. – 960 p., Ill. - ISBN 978-5-9704-4036-0. [In Russian]
5. Krylov V.V. Neyroreanimatologiya: prakticheskoye rukovodstvo [Neuro-reanimatology: a practical guide] / V. V. Krylov - 2<sup>nd</sup> ed., Rewritten and added. – М.: GEOTAR-Media, 2017. – 176 p., Ill. – ("Library doctor-specialist" series). - ISBN 978-5-9704-4369-9. [In Russian]
6. Kay A.D. Detskaya anesteziologiya [Pediatric Anesthesiology] / A.D. Kay, C.D. Fox, D.H. Diaz, translated from English, edited by prof. S.M. Stepanenko – М.: GEOTAR-Media, 2018. – 648 p. [In Russian]
7. Likhberman L.B. Cherepno-mozgovaya travma. Diagnostika i lecheniye [Traumatic Brain Injury. Diagnosis and Treatment] / L. B. Likhberman. – М.: GEOTAR-Media, 2014. – 488 p., Ill. – ISBN 978-5-9704-3104-7. [In Russian]
8. Mizikov V.M. Anesteziologiya. Natsional'noye rukovodstvo. Kratkoye izdaniye [Anesthesiology. National guide. Brief edition] / V.M. Mizikov, A.A. Bunyatyan – М.: GEOTAR-Media, 2017. – 656 p., Ill. – ISBN 978-5-9704-3953-1. [In Russian]
9. Nemkova A.S. Diagnostika i korrektsiya kognitivnykh narusheniy u detey s posledstviyami cherepno-mozgovoy travmy [Diagnosis and Correction of Cognitive Impairment in Children with Effects of Traumatic Brain Injury] / S.A. Nemkova, N.N. Zavadenko, O.I. Maslova // Pediatricheskaya farmakologiya [Pediatric Pharmacology] – 2014. – Vol. 11 – No.3. – P. 54-60 [In Russian]
10. Semenova Zh.B. Rekomendatsii po lecheniyu detey s cherepno-mozgovoy travmoy [Recommendations for Treatment of Children with Traumatic Brain Injury] / Zh.B. Semenova, A.V. Melnikov, I.A. Savvina // Rossiyskiy vestnik detskoy khirurgii, anesteziologii i reanimatologii [Russian Bulletin of Pediatric Surgery, Anesthesiology and Resuscitation] – 2016. – Vol.VI – No. 2 – P. 112-131 [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.021>

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ СОЧЕТАННЫХ РАНЕНИЙ

Научная статья

Муратов А.А.<sup>1,\*</sup>, Туйбаев З.А.<sup>2</sup>, Кутуев Ж.А.<sup>3</sup>, Кушанов А.А.<sup>4</sup>, Жолдошев С.А.<sup>5</sup>

<sup>1, 3, 4, 5</sup> Ошский государственный университет, Ош, Киргизия;

<sup>2</sup> Ошская городская клиническая больница, Ош, Киргизия

\* Копирующий автор (muratovabdizhalil[at]mail.ru)

### Аннотация

Изложены результаты лечения у пострадавших с тяжелыми сочетанными ранениями, находящимися в ситуации риска, крайней необходимости и эксперимента. На основе анализа результатов лечения выявлено, что уровень качества решений в указанных ситуациях составили: диагностика - 0,76; тактика - 0,67; техника - 0,69. Тогда как, уровень качества медико-хирургической помощи должна быть, в целом – 2,0-3,3. Такое положение является информацией к размышлению организаторов здравоохранения и всех специалистов хирургического профиля, сталкивающимися с проблемой оказания медико-хирургической помощи при тяжелых сочетанных повреждениях.

**Ключевые слова:** Качество медико-хирургической помощи, тяжелые сочетанные ранения, ситуации риска, ситуация крайней необходимости, ситуация эксперимента, диагностика, тактика, техника.

## ANALYSIS OF RESULTS OF SEVERE CONCOMITANT INJURIES TREATMENT

Research article

Muratov A.A.<sup>1,\*</sup>, Tuibaev Z.A.<sup>2</sup>, Kutuev Z.A.<sup>3</sup>, Kushanov A.A.<sup>4</sup>, Zholdoshev S.A.<sup>5</sup>

<sup>1, 3, 4, 5</sup> Osh City Clinical Hospital, Osh, Kirghizia;

<sup>2</sup> Department of General Surgery, Osh State University, Osh, Kirghizia

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

### Abstract

The results of treatment of victims with severe concomitant injuries in risk situations, the extreme necessity and experiment are stated. Based on the analysis of the treatment results, it was revealed that the quality level of the solutions in the indicated situations was as follows: diagnostics - 0.76; tactics - 0.67; equipment - 0.69. Whereas, the level of the quality of medical and surgical care should comprise 2.0-3.3 in general. This situation is information for consideration for health care managers and all surgical specialists who are faced with the problem of providing medical and surgical care for severe concomitant injuries.

**Keywords:** Quality of medical and surgical care, severe concomitant injuries, risk situations, emergency situations, experimental situations, diagnostics, tactics, equipment.

2.0-3.3. The aforementioned is information for consideration for managers of health and all surgical specialists facing the problem of providing medical and surgical care for severe concomitant injuries.

Различные понятия, как ситуация риска (СР), ситуация крайней необходимости (СКН) и ситуация эксперимента (СЭ) изобилует в неотложной хирургии и травматологии, а риск составляет одну из неотъемлемых сторон хирургической специальности. Методологические аспекты проблемы достаточно подробно исследованы А.М.Маллаевым (2002) [12].

Безусловно, качественное медико-хирургическое разрешение СР, СКН, СЭ должно содержать в себе стратегическую компоненту, ибо он дает возможность субъекту пользоваться готовыми моделями в случае, когда времени на их создание нет. К сожалению, многие вопросы оптимизации диагностических и тактико-технических решений не разработаны, а, вместе с тем, важность их изучения и осмысления очевидны.

### Цель работы

Провести анализ эффективности медико-хирургической помощи у пострадавших с тяжелыми сочетанными ранениями.

### Материалы и методы исследования

Материалом анализа являются данные 46 раненных с критическим статусом СР, СКН и СЭ, которым оказана медико-хирургическая помощь в НХЦ и в городской клинической больнице г.Ош. На первом месте стоит СКН, что наблюдалась – у 24 (52%), на втором – СР, имевшейся у 12 (26%) и, на третьем – СЭ – у 10 (22%).

Принимая во внимание многообразные свойства СР, СКН и СЭ, проанализировали эти ситуации на базе расчленения и группировки свойств, признаков и отношений их по признакам сходства и различия, объединив сходные свойства в условные группы: «диагностика», «тактика», «техника».

При оценке качества диагностических и тактико-технических решений, во-первых, сопоставляли результаты, традиционного подхода и результаты оптимизированного подхода, а, во-вторых, непосредственный эффект соблюдения стандартов обследования, лечения и качества.

Показатели оценивались экспертным путем, во-первых, сравнивая осуществленные мероприятия с традиционным набором, а, во-вторых, сравнивая клинические данные у пациентов с принятым стандартом качества.

### Результаты и их обсуждения

**Диагностика.** А) В результате экспертной оценки 15 (32,6%) случаев диагностика признана недостаточной для прояснения клинической ситуации.

Во-первых, у всех пострадавших не использованы такие доступные для клиники методы диагностики, как лапароцентез – лапароскопия, торакоцентез-торакоскопия. Между тем, у 8 (17,4%) пострадавших с торако-абдоминальными ранениями (Т-АР), у которых в последующем была диагностировано повреждение внутрибрюшных органов, к сожалению, не была предпринята лапароскопия. Эти пострадавшие оперированы с опозданием в 12-24 ч. с летальным исходом от кровопотери и перитонита у 2 из них.

Во-вторых, у 7 (15,2%) пострадавших с абдомино-торакальными ранениями (А-ТР) не выполнена диагностическая пункция плевральной полости, а также торакоцентез либо торакоскопия, в результате чего 2 из них погибли от внутриплеврального кровотечения, а у 2 (4,3%) из 7 пострадавших был установлен диагноз свернувшегося гемоторакса на рентгенологическом исследовании лишь спустя 5-7 сут. с момента поступления.

Б) В 8 (17,4%) случаях диагностика была малопримлемой.

Во-первых, доступные для клиники методы экспресс-диагностики ранения органов живота при Т-АР была использованы – у 2 (4,3%) из них: лапароцентез использован у 2 (4,3%) пострадавших и по ее результатам выставлены показания к лапаротомии. В 3 (6,5%) случаях диагностика базировалась на рентгенологическом исследовании грудной клетки. Из-за малорезультативности последней, диагноз повреждения легких выставлен лишь на 4 сут. – у 2 (4,3%), на 6 сутки – у 2 (4,3%). В результате мы имели 2 (4,3%) летальных исходов ранения.

Во-вторых, у 3 (6,5%) пострадавших с А-ТР торакоцентез был использован лишь на 3-4 сут. с момент госпитализации. Пострадавшие были оперированы на 4 сут. по поводу свернувшегося гемоторакса. В этой группе пострадавших была 1 (2,2%) смертность от эмпиемы плевры.

В) В 12 (26%) случаях диагностика признана приемлемой, как по качеству, так и по объему.

Во-первых, у 4 (8,6%) пострадавших с Т-АР был выполнен лапароцентез, у 2 (4,3%) – лапароскопия. По их результату у 4 (8,6%) из 6 пострадавших выставлены показания к лапаротомии, а отрицательный результат у 2 (4,3%) – способствовало, соответственно, предотвращению лапаротомии.

Во-вторых, у 6 (13%) пострадавших с А-ТР торакоцентез оказался результативным при обнаружении ранения плевры и легких. Эти раненные были прооперированы в первые 4 ч. с момент госпитализации.

Г) В 11 (24%) случаях диагностика оказалась качественной по результативности.

Во-первых, у 7 (15,2%) пострадавших с подозрением на повреждение абдоминальных органов при Т-АР выполнена лапароскопия. При этом, безусловно установлен диагноз ранения кишечника – у 4 (8,6%), желудка – у 1 (2,2%), печени – у 2 (4,3%). Все они оперированы в приемлемые сроки с хорошим исходом.

Во-вторых, у 2 (4,3%) пострадавших с А-ТР, торакоцентез был положительным и они оперированы в первые 2 ч. с момент госпитализации. У 2-х выполнена результативная торакоскопия. Они оперированы в течение 2-3 ч. с момента госпитализации по гемостатическим показаниям. В итоге, по шкале оценок качества диагностики грация выглядит следующим образом (Таблица 1).

Таблица 1 – Шкала оценки набора диагностических решений

Диагностика	Условное обозначение	Реализация возможностей (%)	Абс.	%
Не качественная	А	0	15	32,6
Мало приемлемая	Б	50	8	17,4
Слабо качественная	В	75	12	26
Приемлемая	Г	100	11	24

*Тактика.* А) В 12 случаях (26%) тактические решения признаны нецелесообразными, некачественными.

Во-первых, 10 пострадавших (22%) без детализации ведущего повреждения были госпитализированы в реанимационное отделение. Определение характера ранения, а также перевод в операционную занял, в среднем 2,5+0,3 часа, а между тем, у этих пострадавших имело место ранение легких - у 2 (4,3%) при А-ТР и ранение печени - у 6 (13%), кишечника - у 1 (2,2%) при Т-АР. Погибли 2 (4,3%) раненных от кровопотери.

Во-вторых, у 2-х из 12 раненных (4,3%) выполненная лапаротомия оказалась напрасной. У 2 (4,3%) раненных при Т-АР неправильно трактовался объем внутриплеврального кровотечения, в результате чего торакотомия была неверно отсрочена.

Б) В 11 случаях (24%) качество тактических решений признано малопримлемым.

Во-первых, у 5 раненных (10,9%) с Т-АР ведущим повреждением было ранение печени с массивным кровотечением в брюшную полость, а между тем, хирурги начали операцию с торакотомии. В плевральной полости оказалось не более 200 мл крови со сгустками и диагностировано краевое ранение нижней доли левого легкого.

Во-вторых, у 6 раненных (13%) с А-ТР лапаротомия была поспешной, ибо при операции было обнаружено ранение сальника, краевое ранение правой доли печени, тогда как, в плевральной полости прогрессивно накапливалась кровь и воздух из-за ранения легкого.

В) В 6 случаях (13%) тактические решения признаны слабокачественными, но приемлемыми.

Во-первых, у 1 раненного с Т-АР (2,2%), с учетом якобы превалирования симптомов внутриплеврального кровотечения предпринята была торакотомия. Между тем, из-за ранения печени в брюшной полости скопилось свыше 1500 мл крови. В остальных случаях Т-АР, хирурги адекватно расценили показание к торакотомии (в 1 случаях) и лапаротомии (в 2 случаях), соответственно, 2,2% и 4,3%.

Во-вторых, лишь у 1 из 2-х раненных с А-ТР (2,2%), у которых превалировали абдоминальные симптомы ранения, лапаротомия оказалась поспешной. У обоих раненных в последующем были выполнены торакотомии.

Г) В 17 случаях (36,9%) тактические решения были обоснованными. Во всех случаях не было ни одного случая напрасной лапаротомии или торакотомии. Не было нарушений и в плане выбора очередности вмешательств на

органах груди и живота. Пострадавшие оперированы своевременно в сроки 42+12,2 мин. с момента госпитализации. В итоге, по шкале оценок качества тактических решений грация выглядит следующим образом (Таблица 2).

Таблица 2 – Шкала оценки набора тактических решений

Тактика	Условное обозначение	Реализация возможностей (%)	Абс.	%
Не качественная	А	0	12	26
Мало приемлемая	Б	50	11	24
Слабо качественная	В	75	6	13
Приемлемая	Г	100	17	37

*Техника.* А) В 8 случаях (17,4%) технические решения признаны некачественными.

Во-первых, 4 раненных (8,7%) были оперированы повторно: релапаротомия – у 3 (6,5%), реторакотомия - у 1 (2,2%). Во-вторых, у 2 из 8 (4,3%) раненных с Т-АР был выбран неоптимальный доступ - торакофренолапаротомия. В-третьих, у всех 8 (17,4%) раненных развились гнойные осложнения.

Б) В 12 случаях (26%) качество технических решений признаны малопримлемыми. Во-первых, у 2-х раненных (4,3%) с абдоминальным компонентом Т-АР на 5-е сут. после операции наступила эвентрация кишечника, а у 2-х развились межпечевой абсцесс брюшной полости. Во-вторых, у 2 (4,3%) раненных с А-ТР после экстренной торакотомии и ушивания раны легкого отмечался гнойный плеврит.

В) В 14 случаях (30,4%) технические решения признаны приемлемыми. Во-первых, у 1 (2,2%) раненного выполнена релапаротомии (абсцесс поддиафрагмального пространства). Инфекционные осложнения отмечались у 6 (13%) из 14 раненных. Во-вторых, у 1 (2,2%) из 5 раненных с А-ТР (%) после торакотомии развилась эмпиема плевры.

Г) В 12 случаях (26%) технические решения были верными, как по объему выполненных вмешательств, так и по операционному доступу, тактике анестезии и дренированию полостей.

В итоге, по шкале оценок качества технических решений грация выглядит следующим образом (Таблица 3).

Таблица 3 – Шкала оценки набора технических решений

Техника	Условное обозначение	Реализация возможностей (%)	Абс.	%
Не качественная	А	0	8	17,5
Мало приемлемая	Б	50	12	26
Слабо качественная	В	75	14	30,5
Приемлемая	Г	100	12	26

### Резюме

Уровень качества решений в условиях СР, СКН и СЭ, вычисленная по формуле:  $УКР = УК1+УК2+УК3...+УКп/п$  составили: диагностика - 0,76; тактика - 0,67; техника - 0,69. Тогда как, уровень качества медико-хирургической помощи должна быть, в целом – 2,0-3,3. Подчеркнутое, является информацией к размышлению, как организаторов здравоохранения, так и всех специалистов хирургического профиля, сталкивающимися с проблемой оказания медико-хирургической помощи при тяжелых сочетанных повреждениях.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Абакумов М.М. Damage control: что нового? / Абакумов М.М., Богопольский П.М // Хирургия. – 2009. – №11. – С. 59 – 62.
2. Абакумов М.М. Множественные и сочетанные ранения шеи, груди, живота: Руководство для врачей / Абакумов М.М. М.: Бино, 2013. – 687 с.
3. Багдасаров В.В. Экстракорпоральная мембранная оксигенация при тяжелой сочетанной травме, осложненной жировой эмболией / Багдасаров В.В., Багдасарова Е.А., Проценко Д.Н. и др. // Хирургия. – 2018. - №10.- С. 76-80.
4. Бектуров Ж.Т. Полисистемные нарушения и тактико-технические решения при травмах грудной клетки и живота. Бектуров Ж.Т. [Текст]: Автореф. дис. ... докт. мед. наук.- Бишкек, 2002. - 34 с.
5. Борисов М.Б. Многоэтапное хирургическое лечение пострадавшего с тяжелой сочетанной травмой головы, груди, живота и таза / Борисов М.Б., Суворов В.В., Рудь А.А. // Вестник хирургии.- 2016.- №4.- С. 119-120.
6. Борковский А.Ю. Торакоскопическое ушивание разрыва диафрагмы и остеосинтез ребер у пострадавшего с тяжелой сочетанной травмой груди. Борковский А.Ю., Медведчиков-Ардия М.А. // Хирургия.- 2014.- №1.- С.82-84.
7. Брюсов П.Г. Новые технологии при хирургическом лечении огнестрельных проникающих ранений груди / Брюсов П.Г., Уразовский Н.Ю. // Хирургия. - 2001. - № 3. - С.46-51.
8. Гуманенко Е.К. Биометрические аспекты лечения сочетанной травмы / Гуманенко Е.К., Щербук Ю.А. Силук М.Г. и др. // Вестник хирургии.- 2018.- №3.- С. 25-30.
9. Дежурный Л.И. Роль оказания первой помощи пострадавшим в предотвращении преждевременной смертности в России. Дежурный Л.И., Лысенко К.И., Батуринов Д.И // Социальные аспекты здоровья населения. - 2011. - Т. 18, № 2. - С. 211-218.

10. Дубров В.Э. Тактика лечения пациентов старших возрастных групп с политравмой на основании оценки риска наступления летального исхода. / Дубров В.Э., Блаженко А.Н., Муханов М.Л. и др. // Хирургия.- 2018.- №1.- С. 41-46.
11. Ершова Н.Б. Травматическая асфиксия у пострадавшего с тяжелой сочетанной травмой / Ершова Н.Б., Разумейко А.В., Ганин В.Н. и др. // Вестник хирургии.- 2017.- №1.- С. 87-89.
12. Маллаев А.М. Клиническая рискология / Маллаев А.М. - Бишкек, 2002. - 250 с.
13. Ben-Nun A. Video-Assisted Thoracoscopic Surgery in the Treatment of Chest Trauma: Long-Term Benefit. / Ben-Nun A., Orlovsty M., Best L.A. // Ann.Thorac.Surg. – 2007.- 83:2:383-387.
14. Karamustafaoglu Y.A. Traumatic asphyxia / Karamustafaoglu Y.A., Yavasman I., Tiryaki S. and others // Int. J. Emergency Med. 2010. - V. 3. – №4.- P. 379-380.

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

1. Abakumov M.M. Bogopolskii P.M. Damage control: chto novogo? [Damage Control: What's New?] / Abakumov M.M.// Surgery. – 2009. – No.11. – P. 59-62. [In Russian]
2. Abakumov M.M. Mnozhestvennye i sochetannye raneniya shei, grudi, zhivota [Multiple and Combined Injuries of the Neck, Chest, Abdomen] / Abakumov M.M. // Guide for Doctors. M.: Binom, 2013. – 687 p. [In Russian]
3. Bagdasarov V.V. Ekstrakorporalnaya membrannaya oksigenatsiya pri tyazheloi sochetannoi travme, oslozhennoi zhirovoi emboliei [Extracorporeal Membrane Oxygenation in Severe Concomitant Injury Complicated by Fat Embolism] / Bagdasarov V.V., Bagdasarova E.A., Protsenko D.N. and others // Khirurgiya [Surgery]. – 2018. – No.10. – P. 76-80. [In Russian]
4. Bekturov Zh.T. Polisistemnye narusheniya i taktiko-tehnicheskie resheniya pri travmakh grudnoi kletki i zhivota [Tekst] [Polysystem Violations and Tactical and Technical Solutions for Injuries of the Chest and Abdomen [Text]]: Thesis Abstract of MD / Bekturov Zh.T. – Bishkek, 2002. – 34 p. [In Russian]
5. Borisov M.B. Mnogoetapnoe khirurgicheskoe lechenie postradavshogo s tyazheloi sochetannoi travmoi golovy, grudi, zhivota i taza [Multistep Surgical Treatment of an Injured Person with Severe Concomitant Trauma of the Head, Chest, Abdomen and Pelvis] / Borisov M.B., Suvorov V.V., Rud A.A. // Vestnik khirurgii [Herald of Surgery]. – 2016. – No.4. – P. 119-120. [In Russian]
6. Borkovskii A.Yu. Torakoskopicheskoe ushivanie razryva diafragmy i osteosintez reber u postradavshogo s tyazheloi sochetannoi travmoi grudi [Thoracoscopic Closure of the Diaphragm Rupture and Osteosynthesis of the Ribs in the Victim with Severe Concomitant Injury of the Chest] / Borkovskii A.Yu., Medvedchikov-Ardiya M.A. // Surgery. – 2014. – No. 1. – P.82-84. [In Russian]
7. Bryusov P.G. tekhnologii pri khirurgicheskom lechenii ognestrelnykh pronikayushvikh ranenii grudi [New Technologies in the Surgical Treatment of Breast Gunshot Wounds] / Bryusov P.G., Urazovskii N.Yu. // Khirurgiya [Surgery]. – 2001. – No. 3. – P.46-51. [In Russian]
8. Gumanenko E.K. Biometricheskie aspekty lecheniya sochetannoi travmy [Biometric Aspects of the Concomitant Injury Treatment] / Gumanenko E.K., Shcherbuk Yu.A., Silyuk M.G. and others // Vestnik khirurgii [Herald of Surgery]. – 2018. – No.3. – P. 25-30. [In Russian]
9. Dezhurnyi L.I. Rol okazaniya pervoi pomoshchi postradavshim v predotvrashchenii prezhdevremennoi smertnosti v Rossii [Role of First Aid to Victims in the Prevention of Premature Mortality in Russia] / Dezhurnyi L.I., Lysenko K.I., Baturin D.I. // Sotsial'nyye aspekty zdorov'ya naseleniya [Social Aspects of Public Health]. – 2011. – Vol. 18, No. 2. – P. 211-218. [In Russian]
10. Dubrov V.Ye. Taktika lecheniya patsientov starshikh vozrastnykh grupp s politravmoi na osnovanii otsenki riska nastupleniya letalnogo iskhoda. [Tactics of Treatment of Patients of Older Age Groups with Polytrauma based on the Assessment of the Risk of Death] / Dubrov V.Ye., Blazhenko A.N., Mukhanov M.L. // Khirurgiya [Surgery]. – 2018. – No. 1. – P. 41-46. [In Russian]
11. Yershova N.B. Travmaticheskaya asfiksiya u postradavshogo s tyazheloi sochetannoi travmoi [Traumatic Asphyxia in a Victim with Severe Concomitant Injury] / Yershova N.B., Razumeiko A.V., Ganin V.N. and others // Vestnik khirurgii [Herald of Surgery]. – 2017. – No.1. – P. 87-89. [In Russian]
12. Mallaev A.M. Klinicheskaya riskologiya [Clinical Riskology] / Mallaev A.M. – Bishkek, 2002. – 250 p. [In Russian]
13. Ben-Nun A. Video-Assisted Thoracoscopic Surgery in the Treatment of Chest Trauma: Long-Term Benefit / Ben-Nun A., Orlovsty M., Best L.A. // Ann.Thorac.Surg. – 2007. – 83:2:383-387.
14. Karamustafaoglu Y.A. Traumatic asphyxia / Karamustafaoglu Y.A., Yavasman I., Tiryaki S. and others // Int. J. Emergency Med. 2010. – V. 3. – No.4. – P. 379-380.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.022>

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ У ПАЦИЕНТОВ С ТЯЖЕЛОЙ ПНЕВМОНИЕЙ

Научная статья

Омаров Т.С.<sup>1</sup>, Мустафин Р.А.<sup>2, \*</sup>, Бакиров А.Ж.<sup>3</sup>, Югай Л.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1255-9111;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-9781-1093;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-2767-7188;

<sup>1, 2, 3, 4</sup> НАО «Медицинский университет Караганды», Караганда, Республика Казахстан

\* Корреспондирующий автор (rusmustafin21[at]gmail.com)

### Аннотация

В статье приведен анализ динамики величин респираторных паттернов у пациентов с тяжелой пневмонией. Определена комбинация дыхательных параметров у данной группы пациентов, способствующая созданию комфортных условий и поддержанию газового состава крови в период респираторной поддержки. Проанализирована динамика газового состава крови при поэтапном переводе пациентов данного профиля на самостоятельное дыхание. В работе сделаны акценты на постепенное снижение FiO<sub>2</sub> (фракционной концентрации во вдыхаемой смеси) для профилактики развития гипоксемии и предупреждения истощения дыхательной мускулатуры на всем протяжении проведения вспомогательной вентиляции легких.

**Ключевые слова:** рестриктивные нарушения, вспомогательная вентиляция легких, пневмония, респираторные паттерны, газовый состав крови.

## IMPROVING APPROACHES IN CARRYING OUT ASSISTED VENTILATION IN PATIENTS WITH HEAVY PNEUMONIA

Research article

Omarov T.S.<sup>1</sup>, Mustafin P.A.<sup>2, \*</sup>, Bakirov A.Zh.<sup>3</sup>, Yugai L.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1255-9111;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-9781-1093;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-2767-7188;

<sup>1, 2, 3, 4</sup> A resident of the "Anesthesiology and Resuscitation incl. Children's" specialty, NJSC "Medical University of Karaganda," Karaganda, The Republic of Kazakhstan

\* Corresponding author (rusmustafin21[at]gmail.com)

### Abstract

The article presents an analysis of the dynamics of respiratory pattern sizes in patients with severe pneumonia. The combination of respiratory parameters in this group of patients has been determined, contributing to the ensuring comfortable conditions and the maintenance of blood gas composition during the period of respiratory support. The dynamics of blood gas composition was analyzed during the phased transfer of patients of this profile to independent breathing. The work focuses on the gradual decrease in FiO<sub>2</sub> (fractional concentration in the inhaled mixture) to prevent the development of hypoxemia and prevent exhaustion of the respiratory muscles throughout the duration of assisted ventilation.

**Keywords:** restrictive disorders, assisted ventilation, pneumonia, respiratory patterns, blood gas composition.

### Введение

Проведение вспомогательной респираторной поддержки пациентам с нарушенной рестриктивной функцией легких обусловлена необходимостью создания оптимального значения кислородной ёмкости крови и комфортных условий вентиляции в течение периода несостоятельности функции внешнего дыхания пациента. [1], [2]

Данный подход в интенсивной терапии диктует необходимость постоянного присутствия врача и непрерывной коррекции значений респираторных паттернов, обеспечивающих адекватный газообмен и вентиляцию легких.

Важность указанного момента связана с необходимостью непрерывного контроля скорости диффузии углекислого газа и кислорода в легких, являющихся основными составляющими элементами внешнего дыхания. [3], [6]

Сущность проблемы заключается в нарушенной проницаемости альвеолярно-капиллярной мембраны в связи с патологическим процессом, затрудняющим диффузию кислорода в кровь легочных капилляров и, в меньшей степени, элиминацию углекислоты. Последняя, обладая большей диффузионной способностью, обеспечивает непрерывную стимуляцию дыхательного центра, формируя постоянную стимуляцию вдоха. [3], [6]

Тем не менее, попытки активизации самостоятельного дыхания у пациентов с рестриктивными нарушениями путем снижения величины дыхательного и минутного объема вентиляции с целью создания гиперкапнии и, как, следовательно, дополнительной стимуляции дыхательного центра, приводят к развитию гипоксемии и гипоксии, негативно влияющих на функции всех органов и систем организма. [8], [9], [10]

Учитывая данный факт, акценты при проведении вспомогательной вентиляции легких должны быть расставлены на создании и поддержании тех значений респираторных паттернов, которые обеспечивают оптимальный градиент давлений в альвеолярном пространстве, плевральной полости и легочных капиллярах для адекватного расправления легких и эффективного газообмена и предотвращения шунтирования крови в легких «справа-налево». [3], [6], [7]

Независимо от режима вентиляции легких и фракционной концентрации кислорода на вдохе (FiO<sub>2</sub>), основными предикторами тяжести рестриктивной патологии остаются комплайнс или растяжимость легочной ткани, индекс

оксигенации крови, пиковое давление вдоха и показатели капнографии, как ключевого показателя эффективности респираторной поддержки [1], [2], [3].

Косвенным параметром глубины нарушений рестриктивного характера может служить и уровень спонтанного положительного давления в конце выдоха (аутоПДКВ), увеличивающегося по мере нарастания «тяжести» легких за счет более быстрого их спадения и сдавления терминальных бронхиол на выдохе. [3], [7]

Являясь отражением и нарушений обструктивного характера вентиляции, данный показатель в совокупности динамики результатов вентиляционной функции легких предопределяет тяжесть и глубину нарушений вентиляционно-перфузионного соотношения и может служить своеобразным критерием эффективности проводимой вентиляционной поддержки. [3], [5], [7]

С учетом вышеизложенного, целью работы явилось определение комбинации респираторных паттернов и их величин для создания комфортных условий и достижения оптимального газового состава крови при проведении вспомогательной вентиляции легких пациентам с тяжелой формой пневмонии.

#### **Материал и методы**

Проанализирована динамика величин регулируемых параметров дыхания при проведении вспомогательной вентиляции легких (ВВЛ) и субъективной оценки их влияния на функцию внешнего дыхания у 12 пациентов (возраст  $48,1 \pm 14,9$  лет) с двусторонней внебольничной пневмонией тяжелой степени, осложненной дыхательной недостаточностью, потребовавшей проведения искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Все пациенты поступили в стационар на 3-5 сутки от момента развития явлений пневмонии, как осложнения острой респираторной вирусной инфекции.

Необходимость проведения принудительной вентиляции легких имела место в первый час госпитализации в отделение интенсивной терапии и была обусловлена как клиническими проявлениями – тахипноэ свыше 30 в мин, бледность, влажность кожного покрова, цианоз губ, ногтевых лож, так и результатами исследования кислотно-щелочного состава крови – отмечали декомпенсированный респираторный ( $n=9$ ) и смешанный ацидоз ( $n=3$ ), снижение сатурации артериальной крови ( $SaO_2$ ) ниже 80%.

Нарушение газового состава крови у 8 больных сопровождалось истощением функции внешнего дыхания, выражавшейся в участии в акте дыхания вспомогательной мускулатуры, тенденции к бради- и олигопноэ.

Принудительная ИВЛ всем больным проводилась с параметрами нормовентиляции, согласно расчетам относительно постоянной массы тела в режиме SIMV (синхронизированная перемежающаяся вентиляция легких) аппаратом Monnal T75 в течение  $72,2 \pm 26,8$  часов в связи с несостоятельностью самостоятельного дыхания и неэффективности перевода на вспомогательную вентиляцию легких.

По мере нивелирования рестриктивных нарушений со стороны легочной ткани и уменьшения её отека, регресса дыхательных нарушений, всех больных переводили на режим PSIMV (контроль по объему с поддержкой давлением), как режима вспомогательной вентиляции легких (ВВЛ). [4,9,10]

Выбор данного режима с контролем по давлению являлся целенаправленным и был ориентирован, как на метод, признанный наиболее оптимальным при отлучении пациентов от длительной принудительной вентиляции легких.

Режим PSIMV позволял адаптировать к спонтанному дыханию пациентов стандартные настройки дыхательных параметров в пределах величин номограмм для адекватной вентиляции легких даже в случае истощения дыхательной мускулатуры пациентов. Иными словами, все изменения величин дыхательных паттернов по отношению к субъективным ощущениям пациентов, находились в пределах физиологических значений.

Для оценки эффективности настройки управляемых параметров вентиляции во внимание принимались дыхательный объем (ДО), давление поддержки на вдохе ( $P_{supp}$ ), скорость инспираторного потока ( $V_{инсп}$ ), уровень положительного давления в конце выдоха (ПДКВ), соотношение продолжительности вдоха/выдоха (I:E), чувствительность триггера по потоку, фракционная концентрация кислорода во вдыхаемой смеси ( $FiO_2$ ), частота дыхания (ЧД).

Критериями эффективного подбора целевых параметров дыхания в период их установки и коррекции считалось удовлетворенность пациента относительно комфортности его ощущений и сохранение оптимальных значений газового состава крови – парциальное давление кислорода ( $PaO_2$ ) и углекислого газа ( $PaCO_2$ ) в артериальной крови, рН крови. [7], [8], [9]

Следует указать, что субъективными критериями комфорта со стороны пациента при подборе/изменении параметров вентиляционной поддержки считали возможность выполнения полноценного вдоха пациентом, совпадение попытки спонтанного вдоха и подачи кислородо-воздушной смеси респиратором (функция триггера), обеспечение полноценного выдоха без создания респиратором существенных усилий (уровень ПДКВ).

Анализ газового состава крови осуществляли, в среднем, каждые 5-6 часов, в зависимости от тяжести дыхательных расстройств.

Момент окончания медикаментозной синхронизации пациента с респиратором и начала вспомогательной вентиляции легких отражался в виде появления единичных, но достаточно полноценных активных вдохов больного, отражающих готовность применения режима вспомогательной вентиляции легких. Длительность непосредственно вспомогательной респираторной поддержки находилась в пределах  $82,9 \pm 10,8$  часа ( $n=10$ ), у двоих больных период поэтапного восстановления самостоятельного дыхания происходил в течение одного месяца.

Следует подчеркнуть, что одним из основных условий для подбора и оценки оптимальности значений респираторных паттернов являлось постоянное поддержание свободной проходимости дыхательных путей посредством своевременного проведения лаважа трахеобронхиального дерева и/или замены эндотрахеальной трубки.

Десяти больным, учитывая длительность проведения респираторной поддержки, на четвертые сутки проведения вентиляционной поддержки наложена трахеостома для облегчения санации нижних дыхательных путей.

В целом, помимо респираторного протезирования самостоятельного дыхания пациентов, интенсивная терапия воспалительного процесса в легких в обязательном порядке включала в первые трое суток применение

антимикробных препаратов широкого спектра до выявления возбудителя из мокроты или промывных вод бронхиального дерева, муколитики, использование бронхолитиков через небулайзер респиратора, антипиретики. Особое внимание уделялось выполнению постурального дренажа и соблюдению волемиического статуса с максимально возможным ограничением внутривенно вводимой жидкости и преобладанием энтерального восполнения.

### Результаты и обсуждение

К моменту начала вспомогательной вентиляции легких все пациенты находились в ясном сознании (окончание медикаментозной синхронизации с респиратором), что позволило в достаточной мере оценивать комфортность условий при регуляции параметров ВВЛ. Начальная установка респираторных паттернов существенно не отличалась от исходных значений принудительной вентиляции с целью плавного и ненавязчивого перехода к самостоятельному дыханию. Указанные величины составили – ДО  $0,54 \pm 0,03$  л,  $P_{supp}$   $19,8 \pm 2,3$  см вод.ст., ЧД  $14,0 \pm 0,9$ /мин, триггер 3-4 л/мин, уровень ПДКВ  $5,0 \pm 0,4$  см вод.ст., скорость инспираторного потока –  $68,5 \pm 6,5$  л/мин. Концентрация кислорода во вдыхаемой смеси первоначально не изменялась (0,4-0,45) во избежание развития гипоксемии при начинающейся активизации самостоятельного дыхания больных. Газовый состав крови к этому моменту отражал оптимальный уровень оксигенации крови и элиминации углекислоты:  $P_{aO_2}$   $92,7 \pm 8,5$  мм рт.ст.,  $P_{aCO_2}$   $43,6 \pm 5,7$  мм рт.ст., pH крови  $7,38 \pm 0,01$ .

Приведенная методика преследовала целью создание постепенного доминирования самостоятельного дыхания больных, активизации пациентов, при уменьшении внешней поддержки со стороны респиратора.

Данный подход ни в одном случае не сопровождался выраженным дискомфортом со стороны пациентов в связи с чем указанные настройки респираторных паттернов сохранялись в течение 24-32 часов ( $n=10$ ).

В дальнейшем проводили более «активную» и, в то же время, постепенную активизацию дыхания больных, как самостоятельного процесса. Этап заключался в ступенчатом уменьшении  $P_{supp}$  на 2 см вод.ст., аппаратной ЧД на 1/мин, ДО на 7-8% от предыдущего значения, увеличении чувствительности триггера на 1-2 л/мин при сохраняющемся аппаратном соотношении I:E 1:2 (2,5). Концентрация кислорода во вдыхаемой смеси уменьшалась незначительно – на 2-3%, так как существенное её снижение, параллельно изменениям настроек дыхательных параметров, сопровождалось грубым ощущением дискомфорта у пациентов и отчетливым истощением самостоятельного дыхания в течение 5–10 мин.

Газовый состав крови при этом отражался в виде значений  $P_{aO_2}$   $90,1 \pm 4,8$  мм рт.ст.,  $P_{aCO_2}$   $43,4 \pm 3,3$  мм рт.ст., pH крови  $7,37 \pm 0,04$ .

При достижении относительно комфортных условий со стороны больного дальнейшая ВВЛ продолжалась в течение 19-28 часов ( $n=10$ ), после чего продолжалось снижение  $P_{supp}$  на 1-2 см вод.ст., аппаратной ЧД на 1-2/мин, ДО на 5-6% от последнего изменения. Значение триггера по потоку не изменялось, но увеличивался уровень ПДКВ на 1-2 см вод.ст. (повышение свыше 2-3 см вод.ст. вызывало быстрый и грубый дискомфорт спонтанного дыхания) для стимуляции дыхательных мышц и восстановления их тонуса [3], [6], [7].

Приведенные изменения настроек ВВЛ продолжались в течение 14-23 часов ( $n=10$ ) с постоянной коррекцией регулируемых параметров в пределах комфортности больного.

Следует указать, что приведенные временные промежутки изменения настроек дыхательных параметров основывались на возможности пациентов поддерживать свой темп и ритм дыхания в течение указанного времени. Попытки со стороны врача уменьшить данный временной промежуток не сопровождалось возможностью пациентов поддерживать измененные настройки респиратора в течение 10-15 минут, что требовало продолжения вентиляции в настроенных ранее параметрах.

У двоих пациентов переход на ВВЛ осложнялся сохранением явлений рестриктивных нарушений и стойкой дыхательной недостаточностью, как по цифровым параметрам респиратора, так и по результатам инструментального обследования, в связи с чем восстановление самостоятельного дыхания заняло период 25 и 32 дня соответственно по истечении которого больные были успешно экстубированы.

На протяжении всего времени проведения ВВЛ и уменьшения её доли в поддержании спонтанного дыхания пациентов после перевода на режим СРАР ( $n=12$ ), принципиальным моментом являлось сохранение высокой скорости инспираторного потока –  $70,5 \pm 9,4$  л/мин, что позволяло поддерживать достаточную воздухонаполненность легких при постепенном уменьшении  $P_{supp}$ . Тем не менее, снижение  $F_iO_2$  с момента перевода пациентов на режим СРАР производилось постепенно – с  $0,4-0,35$  до  $0,25-0,21$  – в течение 16-20 часов.

При сохранении адекватной самостоятельной вентиляции в режиме СРАР на протяжении  $16,1 \pm 10,2$  часов при уменьшении  $F_iO_2$  до 0,21 и скорости инспираторного потока до  $45,0 \pm 50$  л/мин больных полностью разобщали с респиратором и, при сохранении оптимальных показателей газового состава крови, через 2-3 часа производили экстубацию трахеи. Полное отлучение пациентов от респиратора и дыхание атмосферным воздухом сопровождалось значениями  $P_{aO_2}$   $82,2 \pm 3,6$  мм рт.ст.,  $P_{aCO_2}$   $45,1 \pm 2,2$  мм рт.ст., pH крови  $7,36 \pm 0,01$ .

Таким образом, к моменту полного разобщения с респираторной поддержкой, значения газового состава крови носили референтный характер, – дыхание через эндотрахеальную трубку не сопровождалось нарастанием гипоксемии и гиперкапнии, что позволило сохранить адекватность спонтанной вентиляции.

После экстубации трахеи осуществлялся непрерывный мониторинг функции внешнего дыхания, включая газовый состав крови, с интервалом 4 часа в течение 24 часов. Результаты такой обсервации свидетельствовали о развитии временной компенсированной дыхательной недостаточности в виде снижения  $P_{aO_2}$  до  $77,1 \pm 6,9$  мм рт.ст. и повышения  $P_{aCO_2}$  до  $46,8 \pm 4,3$  мм рт.ст., без сдвигов в кислотно-щелочном состоянии крови ( $n=8$ ), что потребовало проведения сеансов оксигенотерапии в течение 15-19 часов (скорость увлажненного кислорода 3-4 л/мин). Данная тактика позволила полностью нивелировать указанные сдвиги в поствентиляционном периоде по истечении указанного времени и обеспечить пациентам спонтанное адекватное дыхание атмосферным воздухом.

**Выводы**

1. Основными регулируемыми респираторными паттернами, обеспечивающими адаптацию и дальнейшее отлучение пациентов с тяжелой пневмонией от вспомогательной вентиляционной поддержки, являются: давление поддержки, частота дыхания, дыхательный объем, уровень ПДКВ, а также скорость инспираторного потока при переводе пациентов в режим самостоятельного дыхания.

2. Быстрое снижение фракционной концентрации кислорода во вдыхаемой смеси на этапе проведения вспомогательной вентиляции легких у пациентов с пневмонией, как правило, сопряжено с более быстрым истощением дыхательной мускулатуры в процессе восстановления самостоятельного дыхания и требует возвращения более высоких уровней поддержки давлением или объемом вспомогательной вентиляции.

3. Для успешного восстановления спонтанного дыхания у пациентов с тяжелой пневмонией и дальнейшего отлучения от вспомогательной вентиляции представляется целесообразным постепенное снижение фракционной концентрации кислорода во вдыхаемой смеси при сохранении высокой скорости инспираторного потока и чувствительности триггера.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Интенсивная терапия. Национальное руководство. Краткое издание: руководство / под ред.: Б. Р. Гельфанда, А. И. Салтанова. -М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. - 800 с.
2. Пульмонология: национальное руководство: краткое издание / ред. А. Г. Чучалин. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. - 800 с.
3. Руководство по респираторной медицине: руководство / Н. Мэскел, Э. Миллар.- М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 600 с.
4. Горячев А.С. Основы ИВЛ. Руководство для врачей / А.С. Горячев, И.А. Савин.. 7-е издание. -"НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН", 2017.-260 с.
5. Графический мониторинг респираторной поддержки: руководство для врачей / А. И. Грицан, А. П. Колесниченко. - СПб.: СпецЛит, 2007. - 103 с
6. Патология легких: монография / М. А. Гриппи; пер. Ю. М. Шапкайтц; ред. Ю. В. Наточин. - 2-е изд., испр. - М.: БИНОМ, 2015. - 304 с.
7. Лебединский К.М. Основы респираторной поддержки / К.М. Лебединский, К.М. Мазурок, А.В. Нефедов. СПб.: Человек, 2008. — 208 с.
8. Аверьянов А. В. Современные принципы ведения больных с тяжелой внебольничной пневмонией / А. В. Аверьянов // Consilium medicum. Болезни органов дыхания. — 2009. — № 1. — С. 21—26.
9. Мороз В.В. Респираторная поддержка в безопасном режиме при нозокомиальной пневмонии. Общая реаниматология / Мороз В.В., Кузовлев А.Н., Голубев А.М., и др. 2015;11(2):6-17. doi:10.15360/1813-9779-2015-2-6-17
10. Светлицкая О.И. Респираторная поддержка пациентов с острым повреждением легких Новости хирургии / Светлицкая О.И., Канус И.И., vol. 22, no. 4, 2014, pp. 474-480.

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

1. Intensivnaja terapija. Nacional'noe rukovodstvo. Kratkoe izdanie: rukovodstvo [Intensive care. National guide. Short edition] / pod red. [edited by]: B. R. Gel'fanda, A. I. Saltanova. -M.: GJeOTAR-Media, 2013. – 800 p. [in Russian]
2. Pul'monologija: nacional'noe rukovodstvo: kratkoe izdanie [Pulmonology: national guide] / red. [edited by] A. G. Chuchalin. - М.: GJeOTAR-Media, 2014. - 800 p. [in Russian]
3. Rukovodstvo po respiratornoj medicине: rukovodstvo [Guide for respiratory medicine] / N. Mjeskel, Je. Millar- М.: GJeOTAR-Media, 2014. – 600 p. [in Russian]
4. Osnovy IVL. Rukovodstvo dlja vrachej. 7-e izdanie. [Mechanical ventilation basics. Guide for physicians. 7th edition] A.S. Gorjachev, I.A. Savin. "NII neirohirurgii im. akad. N.N. Burdenko RAMN", 2017. -260 p. [in Russian]
5. Graficheskij monitoring respiratornoj podderzhki: rukovodstvo dlja vrachej [Graphic monitoring of respiratory support: guide for physicians] / A. I. Grican, A. P. Kolesnichenko. - SPb.: SpecLit, 2007. - 103 p. [in Russian]
6. Patofiziologija legkih: monografija [Lungs pathophysiology: monograph]/ M. A. Grippi; per. Ju. M. Shapkaic; [edited by] red. Ju. V. Natochin. [2nd edition]- 2-e izd., ispr. - М.: BINOM, 2015. - 304 p. [in Russian]
7. Osnovy respiratornoj podderzhki [Respiratory support basics] / K.M. Lebedinskij, K.M. Mazurok, A.V. Nefedov. SPb.: Chelovek, 2008. — 208 p. [in Russian]
8. Aver'janov A. V. Sovremennye principy vedenija bol'nyh s tjazheloj vnebol'nichnoj pnevmoniej [Modern principles of severe pneumonia cases management] / A. V. Aver'janov // Consilium medicum. Bolezni organov dyhanija. — 2009. — № 1. — P. 21—26. [in Russian]
9. Moroz V.V. Respiratornaja podderzhka v bezopasnom rezhime pri nozokomial'noj pnevmonii. [SAFETY-MODE RESPIRATORY SUPPORT IN NOSOCOMIAL PNEUMONIA] / Moroz V.V. Obshhaja reanimatologija. 2015;11(2): p.6-17. [in Russian]
10. Svetlickaja O.I. Respiratornaja podderzhka pacientov s ostrym povrezhdeniem legkih [Respiratory support of patients with acute lung injuries] / Svetlickaja O.I., Kanus I.I. Novosti hirurgii, vol. 22, no. 4, 2014, pp. 474-480. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.023>

## УЛЬТРАМИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЯДЕРНЫХ СТРУКТУР НЕЙРОБЛАСТОВ И ГЛИОБЛАСТОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И В УСЛОВИЯХ ПРЕНАТАЛЬНОЙ АЛКОГОЛИЗАЦИИ МАТЕРИ

Научная статья

Солонский А.В. \*

ORCID ID :0000-0002-1843-5833,

ФГБНУ ТНИМЦ РАН, НИИ психического здоровья, Томск, Россия

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

### Аннотация

При ультраструктурном анализе 53 образцов головного мозга эмбрионов и плодов человека 7-12 недель развития установлен комплекс морфологических изменений структуры ядер нейробластов и глиобластов в условиях пренатальной алкоголизации. Выявлены вакуолизация перинуклеарного пространства, перестройка внутренней и наружной мембран ядра, образование 3 типов специфических сфероидных структур вблизи наружной ядерной мембраны. Указанные ультраструктурные проявления реакции ядер указывают на одну из точек приложения алкогольного воздействия развивающихся клеток мозга.

**Ключевые слова:** эмбрион, мозг, ядро, алкоголь.

## ULTRAMICROSCOPIC ANALYSIS OF THE STATE OF NUCLEAR STRUCTURES OF NEUROBLASTS AND GLIOBLASTS OF THE HUMAN BRAIN CORTEX IN NORMAL CONDITIONS AND IN THE CONDITIONS OF THE MOTHER'S PRENATAL ALCOHOLIZATION

Research article

Solonsky A.V.

ORCID: 0000-0002-1843-5833,

FSBSI Tomsk National Research Medical Center RAS, Scientific Research Institute of Mental Health, Tomsk, Russia

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

### Abstract

A complex of morphological changes in the structure of the nucleus of neuroblasts and glioblasts in the conditions of prenatal alcoholization was established during the ultrastructural analysis of 53 brain samples of embryos and human fetuses of 7-12 weeks of development. Vacuolization of the perinuclear space, rearrangement of the inner and outer membranes of the nucleus, and the formation of 3 types of specific spheroid structures near the outer nuclear membrane were revealed. These ultrastructural manifestations of nuclear reaction indicate one of the points of application of the alcoholic effects of the developing brain cells.

**Keywords:** embryo, brain, nucleus, alcohol.

Несмотря на кажущуюся изученность всего многообразия влияния алкоголя на организм человека, при детализированном подходе обнаруживаются важные морфологические проявления его воздействия на уровне структур мозга и ультраструктур клеток. Нейробласты, как первичные клетки формирующейся коры головного мозга (1), являются мишенью для молекул алкоголя, поскольку он легко проникает через плацентарный барьер, гематоэнцефалический барьер, плазматическую и ядерную мембраны клеток [2], [3]. Показано, что к алкоголю наиболее восприимчивы молодые клетки, в частности, стволовые, а также у взрослых – клетки субвентрикулярной зоны мозга. Таковыми в развивающемся мозге являются клетки вентрикулярного и промежуточного слоёв формирующейся коры, в частности – предшественники клеток радиальной глии и непосредственно предшественники нейронов – нейробласты и юные нейроны [4], [5], [6].

Целью исследования явилось выявление эффектов влияния пренатально имплицированного этанола на ультраструктурные компоненты ядра нейробластов и глиобластов мозга эмбрионов и плодов человека 7-12 недель гестации.

Для электронномикроскопического исследования из ткани мозга эмбрионов и плодов от здоровых женщин (20 случаев - контроль) и употреблявших алкоголь в период беременности (33 случая – опытная группа) вырезались кусочки размером 1 мм<sup>3</sup>, которые после быстрой промывки в 0,1 М какодилатном буфере (рН 7,4) погружались для фиксации в 0,5% раствор глутарового альдегида на 0,1 М какодилатном буфере с последующей дополнительной фиксацией в растворе осмиевой кислоты. Зафиксированный материал заключали в смесь эпоксидных смол (эпон и аралдит). Материал в эпоксидных блоках подвергали резке на ультрамикротоме «Ultracut-E» (Reichert Jung, Австрия). Срезы контрастировали по Рейнольдсу уранилацетатом и цитратом свинца. Просматривали и фотографировали срезы в электронных микроскопах JEM 100B и JEM 100CX (JEOL, Япония) при ускоряющем напряжении 60-80 кВ. Статистическую обработку материала проводили с использованием программы Statistica 6.0.

На стадии 7 недель гестации клеточный состав формирующегося мозга представлен малодифференцированными клетками вентрикулярного слоя – эпендимными клетками и клетками радиальной глии, а также более дифференцированными нейробластами и глиобластами, находящимися в процессе миграции. Клетки радиальной глии по последним данным являются камбиальными элементами коры, дающими начало как нейроглии (в том числе астроглии), так и нейронам (7, 8). Нейробласты и глиобласты имеют большое ядро, занимающее практически всю площадь клетки, причём ядра глиобластов имеют значительно более выраженную электронную плотность по

сравнению с ядрами нейробластов, а также имеют более сложную форму (Рис.1). Ядерно-цитоплазматическое отношение обеих клеток смещено в сторону ядра, что характерно для незрелых форм. Обе клетки имеют узкий ободок цитоплазмы с ограниченным набором органелл, представленными одиночными рибосомами и полисомами звёздчатого типа, митохондриями, слабо развитыми эндоплазматическим ретикуломом и комплексом Гольджи.

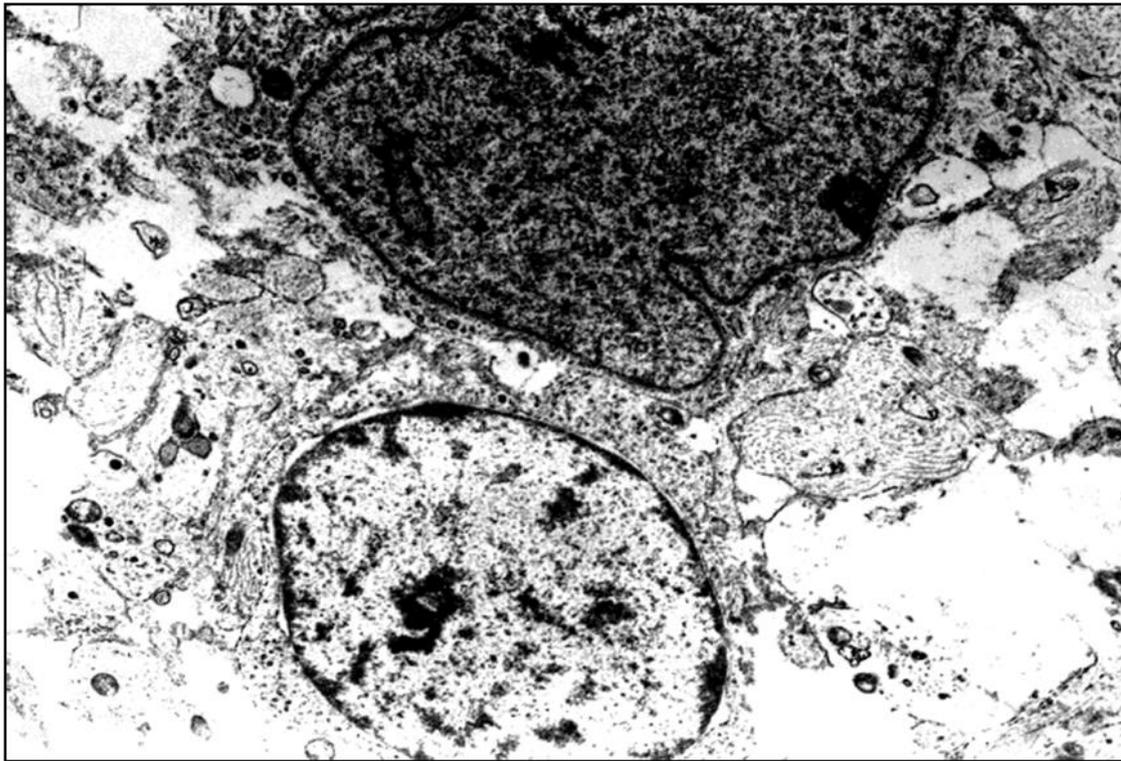


Рис. 1 – Глиобласт (вверху) и нейробласт коры мозга. Плод 9 недель гестации, контрольная группа. Ув. 24 000

На материале опытной группы выявлены заметные ультраструктурные особенности строения ядерной мембраны (наружной и внутренней). Установлено значительно более частое расширение перинуклеарного пространства нейробластов и глиобластов в опытной группе. Отмечено появление ядерного материала в просвете перинуклеарного пространства, который имел различную структуру. В первом случае скопления ядерного материала имело шаровидную форму, свободно располагались в перинуклеарном пространстве, не прилежали ни к одной из ядерных мембран и не имели окружающей их собственной мембраны. Вторым вариантом появления материала в перинуклеарном пространстве отличался от первого тем, что материал был окружён собственной одинарной мембраной, образованной наружной ядерной оболочкой, однако заполнены они были веществом цитоплазмы клетки, а не ядерным материалом. Третьим вариантом представлял собой сферические частицы, окружённые одинарной мембраной (Рис. 2). Такие структуры могли быть обнаружены на некотором расстоянии от ядра, в цитоплазме, без контакта с ядерными мембранами, из чего можно сделать заключение о возможности обмена ядерным материалом с цитоплазмой не за счёт проникновения его через ядерные поры, а путём образования указанных структур.

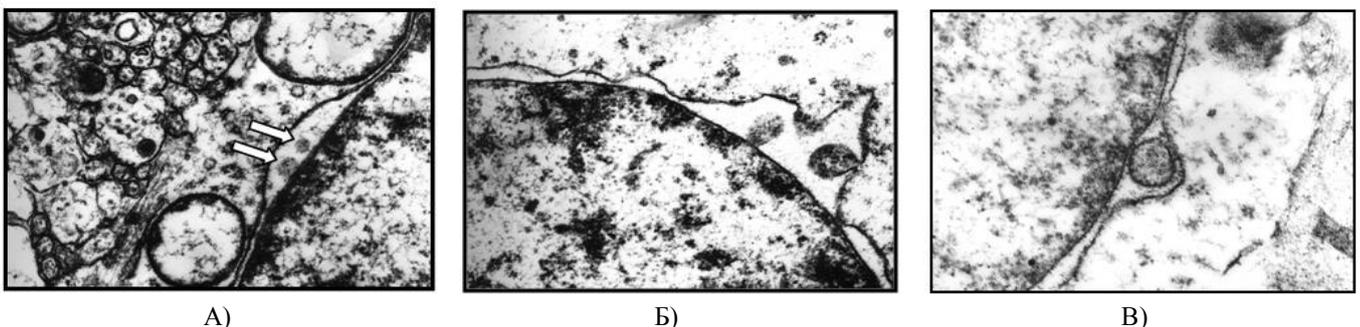


Рис. 2 – Сферические скопления ядерного материала в перинуклеарном пространстве нейробластов. А – первого типа (белые стрелки), Б – второго типа, В – третьего типа. К месту формирования сфероидов прилежит внутренняя мембрана ядра с ламиной и гетерохроматином. Плод 11-12 нед., основная группа, ув. 50 000

Выявлены были также другие особенности структуры ядер нейробластов и глиобластов. Представляет интерес частота их встречаемости, что отражено в таблице 1. Характерными особенностями ядерных структур нейробластов и глиобластов опытной группы являлись более выраженные перестройки мембран ядра, как внутренней, так и наружной, более частые изменения формы и большее количество конденсированного гетерохроматина, что указывает на сниженную активность клеток. Значительно чаще и статистически достоверно изменялся просвет перинуклеарного пространства дифференцирующихся нервных и глиальных клеток ( $p < 0.001$ ).

Таблица 1 – Частота встречаемости морфологических феноменов ядерных структур нейробластов и глиобластов.

№	Морфологический феномен	Количество наблюдаемых феноменов в группах		$\chi^2$ и уровень значимости
		Контрольная группа N= 30	Основная группа N=23	
		4	14	13,14 <0,001
2	Формирование внутриядерных включений	8	16	9,66 <0,01
3	Разрастание внутренней мембраны ядра	5	5	0,21 -
4	Разрастание наружной мембраны ядра	16	14	0,30 -
5	Редупликация оболочки ядра	4	6	1,38 -
6	Изменение ширины перинуклеарного пространства	4	19	25,43 <0,001
7	Перераспределение хроматина	6	16	13,17 <0,001
8	Фрагментация локального участка внутренней мембраны ядерной оболочки	6	15	11,12 <0,001
9	Фрагментация локального участка наружной мембраны ядра	7	19	18,30 <0,001
10	Фрагментация локального участка оболочки ядра	8	12	3,60 -
11	Изменение числа пор	3	12	11,41 <0,001
12	Выход кариоплазмы	0	3	4,14 <0,05

В заключение необходимо отметить многообразие проявлениях влияния алкоголя на дифференцирующиеся клетки коры головного мозга эмбрионов и плодов. Указанные морфологические феномены возможно трактовать как стимулирующее действие для синтеза ядерных мембран, однако, тормозящее для внутриядерных процессов синтеза, что отражается в более частом образовании гетерохроматина. Появление сфероидных структур в перинуклеарном пространстве нейробластов возможно трактовать как формирование микроядер – в этом случае речь может идти о мутагенных эффектах пренатально проникающего в мозг этанола (9, 10).

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Ковецкий Н.С. Нарушения развития головного мозга плодов, полученных от матерей, употреблявших алкоголь в период беременности / Н.С. Ковецкий, А.В. Солонский, Т.Л. Моисеева // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 1995; 3: 58–63.

2. Рузаева В.А. Особенности формирования гематоэнцефалического барьера при модуляции активности hif в клетках астроглиальной и нейрональной природы in vitro / В.А. Рузаева, А.В. Моргун, Е.Д. Хилажева, Н.В. Кувачева, Е.А. Пожиленкова, Е.Б. Бойцова, Г.П. Мартынова, Т.Е. Таранушенко, А.Б. Салмина // Биомедицинская химия, 2016 том 62, в. 6, с. 664-669.

3. Солонский А.В. Структурно-функциональные особенности мембран клеток крови и мозга при алкогольной интоксикации / А.В. Солонский, В.Д. Прокопьева, Н.А. Бохан // Сибирский вестник психиатрии и наркологии. 2006; 3 (42): 36–39.

4. McGrath Erica L. Spatial and Sex-Dependent Responses of Adult Endogenous Neural Stem Cells to Alcohol Consumption / Erica L. McGrath, Junling Gao, Yong-Fang Kuo, Kathryn A. Cunningham, Bhupendra S. Kaphalia, Ping Wu. // Open Access: November 9, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2017.10.007>.

5. Cui C, Koob G.F. Titrating Topsy Targets: The Neurobiology of Low-Dose Alcohol /Trends Pharmacol Sci. 2017 Jun;38(6):556-568. doi: 10.1016/j.tips.2017.03.002. Epub 2017 Mar 31.
6. Ton S.T. Subventricular zone neural precursor cell responses after traumatic brain injury and binge alcohol in male rats / Ton S.T., Tsai S.Y., Vaagenes I.C., Glavin K., Wu J., Hsu J., Flink H.M., Nockels D., O'Brien T.E., Kartje G.L. // J. Neurosci. Res. 2019.- Jan 7. doi: 10.1002/jnr.24382.
7. Gotz M., Barde Y.-A. Radial glial cells: defined and major intermediates between embryonic stem cells and CNS neurons//Neuron.— 2005.— Vol. 46.— P. 369—372.
8. Merkle F.T. Radial glia give rise to adult neural stem cells in the subventricular zone / Merkle F.T., Tramontin A.D., Garcia-Verdugo J.M., Alvarez-Buylla A. // Proc. Nati. Acad. Sci. USA.-2004.-Vol. 101.-P. 17528-17 532.
9. Soto M. Chromosomes trapped in micronuclei are liable to segregation errors / Soto M., García-Santisteban I., Krenning L., Medema R.H., Raaijmakers J.A. // Cell Sci. 2018 Jul 9;131(13). pii: jcs214742. doi: 10.1242/jcs.214742.
10. Sousa Coelho IDD. Protective effect of exogenous melatonin in rats and their offspring on the genotoxic response induced by the chronic consumption of alcohol during pregnancy / Sousa Coelho I.D.D., Lapa Neto C.J.C., Souza T.G.D.S., Silva M.A.D., Chagas C.A., Santos K.R.P.D., Wanderley Teixeira V, Teixeira Á.A.C.// Mutat Res. 2018 Aug;832-833:52-60. doi: 10.1016/j.mrgentox.2018.06.018. Epub 2018 Jun 21.

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

1. Kovetsky N.S. Narusheniya razvitiya golovnogo mozga plodov, poluchennykh ot materei, upotreblyavshikh alkogol v period beremennosti [Disorders of Brain Development of Fetuses Obtained from Mothers who Consumed Alcohol during Pregnancy] / N.S. Kovetsky, A.V. Solonsky, T.L. Moiseev // Journal of Neurology and Psychiatry. S.S. Korsakova. 1995; 3: 58–63. [in Russian]
2. Ruzaeva V.A. Osobennosti formirovaniya gematoentsefalicheskogo bariera pri modulyatsii aktivnosti hif v kletkakh astroglialnoii i neiironalnoii prirody in vitro [Features of the Formation of the Blood-brain Barrier in the Modulation of hif Activity in Astroglial and Neuronal Cells in vitro] / V.A. Ruzaeva, A.V. Morgun, E.D. Khilazheva, N.V. Kuvacheva, E.A. Pozhilenkova, E. B. Boytsova, G.P. Martynova, T.E. Taranushenko, A.B. Salmina // Biomedical Chemistry, 2016, Volume 62, v. 6, p. 664-669. [in Russian]
3. Solonsky A.V. Strukturno-funktsionalnye osobennosti membran kletok krovi i mozga pri alkogolnoi intoksikatsii [Structural and Functional Features of the Membranes of Blood and Brain Cells during Alcohol Intoxication] / A.V. Solonsky, V.D. Prokopyeva, N.A. Bokhan // Siberian Bulletin of Psychiatry and Narcology. 2006; 3 (42): 36–39. [in Russian]
4. McGrath Erica L. Spatial and Sex-Dependent Responses of Adult Endogenous Neural Stem Cells to Alcohol Consumption / Erica L. McGrath, Junling Gao, Yong-Fang Kuo, Kathryn A. Cunningham, Bhupendra S. Kaphalia, Ping Wu. // Open Access: November 9, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2017.10.007>.
5. Cui C, Koob G.F. Titrating Topsy Targets: The Neurobiology of Low-Dose Alcohol /Trends Pharmacol Sci. 2017 Jun; 38(6):556-568. doi: 10.1016/j.tips.2017.03.002. Epub 2017 Mar 31.
6. Ton S.T. Subventricular zone neural precursor cell responses after traumatic brain injury and binge alcohol in male rats / Ton S.T., Tsai S.Y., Vaagenes I.C., Glavin K., Wu J., Hsu J., Flink H.M., Nockels D., O'Brien T.E., Kartje G.L. // J. Neurosci. Res. 2019. - Jan 7. doi: 10.1002/jnr.24382.
7. Gotz M., Barde Y.-A. Radial glial cells: defined and major intermediates between embryonic stem cells and CNS neurons//Neuron.— 2005.— Vol. 46.— P. 369—372.
8. Merkle F.T. Radial glia give rise to adult neural stem cells in the subventricular zone / Merkle F.T., Tramontin A.D., Garcia-Verdugo J.M., Alvarez-Buylla A. // Proc. Nati. Acad. Sci. USA.-2004.-Vol. 101.-P. 17528-17 532.
9. Soto M. Chromosomes trapped in micronuclei are liable to segregation errors / Soto M., García-Santisteban I., Krenning L., Medema R.H., Raaijmakers J.A. // Cell Sci. 2018 Jul 9;131(13). pii: jcs214742. doi: 10.1242/jcs.214742.
10. Sousa Coelho IDD. Protective effect of exogenous melatonin in rats and their offspring on the genotoxic response induced by the chronic consumption of alcohol during pregnancy / Sousa Coelho I.D.D., Lapa Neto C.J.C., Souza T.G.D.S., Silva M.A.D., Chagas C.A., Santos K.R.P.D., Wanderley Teixeira V, Teixeira Á.A.C.// Mutat Res. 2018 Aug;832-833:52-60. doi: 10.1016/j.mrgentox.2018.06.018. Epub 2018 Jun 21.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.024>**ТРАСТУЗУМАБ-ИНДУЦИРОВАННАЯ КАРДИОТОКСИЧНОСТЬ – МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ ПРОБЛЕМА СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЫ**

Научная статья

**Трушин А. Ю. \***

ORCID: 0000-0003-0841-1464,

Федеральное Государственное Автономное Образовательное Учреждение Высшего Образования Первый Московский Государственный Медицинский Университет имени И.М. Сеченова Министерства Здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (iundead1996[at]gmail.com)

**Аннотация**

Трастузумаб – основа адъювантной терапии HER2 позитивного рака молочной железы. На данный момент получены отдалённые (более 5 лет) результаты клинических исследований, подтверждающие данный факт. Хотя трастузумаб лишён классической токсичности при лечении рака, огромное беспокойство вызывает его как симптоматическое, так и бессимптомное влияние на функцию сердца. Для этого препарата характерен второй тип кардиотоксичности (обратимая кардиотоксичность). В метаанализе, посвящённом развитию кардиотоксичности у пациенток с раком молочной железы, принимающих трастузумаб, было выяснено, что 3% всех пациентов испытывали тяжёлую кардиотоксичность. В современной клинической практике у пациентов часто встречаются сердечно-сосудистые заболевания, поэтому невозможно обойтись без правильной оценки рисков предстоящего лечения. На мой взгляд, оптимальным решением проблемы мониторинга функции сердца является междисциплинарное взаимодействие кардиологов и онкологов.

**Ключевые слова:** трастузумаб, кардиотоксичность, рак молочной железы.**TRASTUZUMAB-INDUCED CARDIOTOXICITY – INTERDISCIPLINARY PROBLEM OF MODERN MEDICINE**

Research article

**Trushin A.Y.\***

ORCID: 0000-0003-0841-1464,

Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

\* Corresponding author (iundead1996[at]gmail.com)

**Abstract**

Trastuzumab is the basis of adjuvant therapy for HER2 positive breast cancer. This fact is confirmed by currently received remote (more than five years) results of clinical studies. Although trastuzumab is devoid of classical toxicity in the treatment of cancer, its symptomatic and asymptomatic effects on heart function are of great concern. This drug is characterized by the second type of cardiotoxicity (reversible cardiotoxicity). The meta-analysis devoted to the development of cardiotoxicity in patients with breast cancer, taking trastuzumab, showed that 3% of all patients experienced severe cardiotoxicity. In modern clinical practice, patients often have cardiovascular diseases, so it is impossible to go without a proper assessment of the risks of the upcoming treatment. According to the author's opinion, the best solution to this problem is interdisciplinary interaction between cardiologists and oncologists.

**Keywords:** trastuzumab, cardiotoxicity, breast cancer.**Введение**

Рак молочной железы (РМЖ) – самая распространённая злокачественная опухоль у женщин, и также занимающая второе место в структуре смертности [1]. Хотя рак молочной железы упоминается как одно заболевание, он содержит множество гистологических подтипов и, по крайней мере, четыре молекулярных подтипа, которые различаются по своему лечению и прогнозу [2]. Молекулярные подтипы (см. рисунок 1) были идентифицированы с использованием общепринятых биологических маркеров: РЭ (рецепторы эстрогена), РП (рецепторы прогестерона), HER2 (human epidermal growth factor receptor 2); к ним относятся: люминальный А, люминальный Б, HER2 позитивный, трижды негативный (сейчас рассматривается как группа заболеваний, имеющая свои подтипы) [2], [3], [4].

Молекулярные подтипы РМЖ	РЭ	РП	HER2
Люминальный А	+	+	-
Люминальный Б	+	+/-	+/-
HER2 позитивный	-	-	+
Трижды негативный	-	-	-

Рис. 1 – Молекулярные подтипы рака молочной железы

В раке молочной железы амплификация HER2 встречается в 20-30% случаев, этот молекулярный подтип ассоциирован с агрессивным течением заболевания и плохим прогнозом [6], [7]. HER2 – это мембранный белок, один

из семейства четырёх мембранных тирозинкиназ, которое также включает EGFR (Epidermal growth factor receptor), HER3, HER4 [7], [8]. При взаимодействии с лигандом, рецептор димеризуется с образованием гомодимеров и гетеродимеров. Это приводит к последующему трансфосфорилированию, которое активирует несколько внутриклеточных сигнальных путей, что в свою очередь влияет на пролиферацию, подвижность, адгезию и выживание опухолевой клетки [9].

Трастузумаб – это гуманизированное моноклональное антитело, которое избирательно связывается с HER2. Трастузумаб получают по технологии рекомбинантной ДНК в клетке млекопитающего (клетки яичника китайского хомяка), содержащей антибиотик гентамицин. Гентамицин не обнаруживается в конечном продукте [11]. Будучи анти-HER2 антителом, трастузумаб имеет два основных механизма действия: он подавляет сигнализацию HER2 и вызывает антитело-опосредованный иммунный ответ. Было показано, что трастузумаб может ингибировать передачу сигнала HER2 либо путем дестабилизации HER2 гетеродимеров или путем интернализации HER2-рецепторов с последующей лизосомной деградацией [7], [12]. Трастузумаб, связываясь с HER2, метаболизируется внутриклеточно до пептидов и аминокислот. Внутриклеточное связывание объясняет дозозависимую (нелинейную) элиминацию. Выведение антител из плазмы — это сложный процесс и зависит от многих факторов, таких как генетика, клинический статус пациента [14]. Трастузумаб характеризуется низким системным клиренсом, низким объемом распределения и очень длительным периодом полураспада (28 дней), сравнимым с таковым у эндогенных иммуноглобулинов G [15]. Знания о влиянии трастузумаба на развитие плода человека ограничены. Есть данные о развитии олигогидрамниоза во время второго и третьего триместров беременности и обратимой фатальной почечной недостаточности. Если потенциальная польза для матери перевешивает потенциальный риск для плода, то можно проводить лечение трастузумабом, но показатели плода должны строго контролироваться врачом. Во время лактации следует избегать приём трастузумаба и в течение 6 месяцев после последнего введения [14].

Трастузумаб – основа адьювантной терапии HER2 позитивного РМЖ. На данный момент получены отдалённые (более 5 лет) результаты клинических исследований, подтверждающие данный факт [16], [17], [18]. Хотя трастузумаб лишён классической токсичности при лечении рака, огромное беспокойство вызывает его как симптоматическое, так и бессимптомное влияние на функцию сердца [13].

### **Кардиотоксичность**

Кардиотоксичность – это группа нежелательных явлений, часто представленных снижением фракции выброса левого желудочка (ФВЛЖ) и сердечной недостаточностью, возникающая на фоне лекарственного лечения онкологических заболеваний. По виду повреждающего действия на сердце (кардиотоксичность) цитостатические и таргетные препараты разделяются на два типа. Первый тип – необратимая дисфункция миокарда, второй тип – обратимая дисфункция миокарда, за счёт митохондриальных повреждений. Для трастузумаба характерен второй тип кардиотоксичности [19]. Механизм, с помощью которого трастузумаб вызывает кардиотоксичность ещё изучается. На данный момент известно, что появление нежелательных сердечно-сосудистых явлений связано с блокировкой нормального физиологического действия через HER2 на кардиомиоциты [20], [21]. В отсутствие функции HER2 кардиомиоциты не способны активировать сигнальные пути для собственного выживания, а также накапливаются активные формы кислорода (АФК), что в итоге приводит к сердечной дисфункции [20], [22]. В метаанализе, посвящённом развитию кардиотоксичности у пациентов с РМЖ, принимающих трастузумаб, было выяснено, что 3% [95% ДИ, 2,41-3,64; P>0.05] всех пациентов испытывали тяжёлую кардиотоксичность. Уровень заболеваемости составил 2,62% [95% ДИ, 1,97-3,35; P>0.05] у пациентов с ранним раком молочной железы и 3,14% [95% ДИ, 2,12-4,37; P>0.05] у пациентов с метастатическим раком молочной железы. Исследователи отметили, что клинические испытания обычно исключают пациентов с историей сердечно-сосудистых заболеваний, поэтому частота сердечной недостаточности может быть ещё выше в реальной жизни [23]. В современной клинической практике у пациентов часто встречаются сердечно-сосудистые заболевания, поэтому невозможно обойтись без правильной оценки рисков предстоящего лечения. Метаанализ 17 включенных исследований показал, что диагнозы: гипертоническая болезнь [95% ДИ: 1,14-2,26, P <0,01], диабет [95% ДИ: 1,10-2,38, P <0,02] и предыдущее использование антрациклинов [95% ДИ: 1,17-3,92, P <0,02] были связаны с риском развития трастузумаб-индуцированной кардиотоксичности. Было также установлено, что увеличение возраста (старше 65 лет) P = 0,013, значительно связано с трастузумаб-индуцированной кардиотоксичностью [24].

### **Возможности кардиологии**

Пациенты, получающие анти-HER2-терапию, часто, хотя и не всегда, принимают антрациклины перед началом таргетной терапии. В таких случаях наблюдение за функцией сердца должно начинаться до назначения антрациклинов. Режим наблюдения во время лечения зависит от местных протоколов и рекомендаций, но, как правило, мониторинг сердечно-сосудистой деятельности выполняется каждые 3 месяца во время лекарственного лечения по поводу РМЖ и один раз после завершения лечения трастузумабом [25]. В нескольких исследованиях было продемонстрировано улучшение раннего выявления снижения ФВЛЖ при помощи измерения уровня тропонинов и выполнения эхокардиографии каждые 3 месяца (вовремя адьювантной терапии трастузумабом). Учитывая изменчивость сроков возникновения дисфункции левого желудочка, вызванной трастузумабом, рекомендуется рассмотреть измерение тропонина с каждым циклом таргетной терапии у пациентов с исходным высоким риском кардиотоксичности [25], [26], [27]. Использование NT-proBNP (N-terminal pro brain natriuretic peptide/N-терминальный участок мозгового натрийуретического пептида) для выявления сердечной недостаточности широко распространено, и даже очень низкие уровни могут идентифицировать пациентов с высоким риском [28]. NT-proBNP может оказаться полезным для раннего выявления дисфункции левого желудочка после применения антрациклинов и трастузумаба, но его роль в регулярном наблюдении не установлена [28], [29]. Mary Putt и др. предложили возможность использования миелопероксидазы для прогнозирования риска кардиотоксичности. В этом исследовании увеличение миелопероксидазы было связано с кардиотоксичностью в течение всего курса лечения доксорубицином и трастузумабом [28], [30]. Исследования по поиску оптимального прогностического биомаркера продолжаются.

Совместное применение антрациклинов и трастузумаба заметно увеличивает вероятность дисфункции левого желудочка и сердечной недостаточности, но кардиотоксичность может быть значительно снижена путем введения интервала между приёмом антрациклинов и трастузумаба. Наблюдается связь между лечением ингибиторами АПФ (ангиотензинпревращающего фермента) плюс бета-блокаторами и восстановлением функции левого желудочка в течение 12 месяцев. Так же известно, что у пациентов с HER2 положительным раком молочной железы и нормальной ФВЛЖ до приема трастузумаба и антрациклинов, непрерывное использование бета-блокаторов снижает частоту развития сердечной недостаточности [25], [31]. Является ли это открытие значимым также для пациентов, которые лечились преимущественно с неантрациклинами до того, как был назначен трастузумаб? Европейское общество кардиологии (ESC) заявляет, что данные противоречивые, и рекомендации не могут быть сделаны [25]. Для упрощения ведения пациентов был разработан следующий алгоритм (см. рисунок 2) [32].

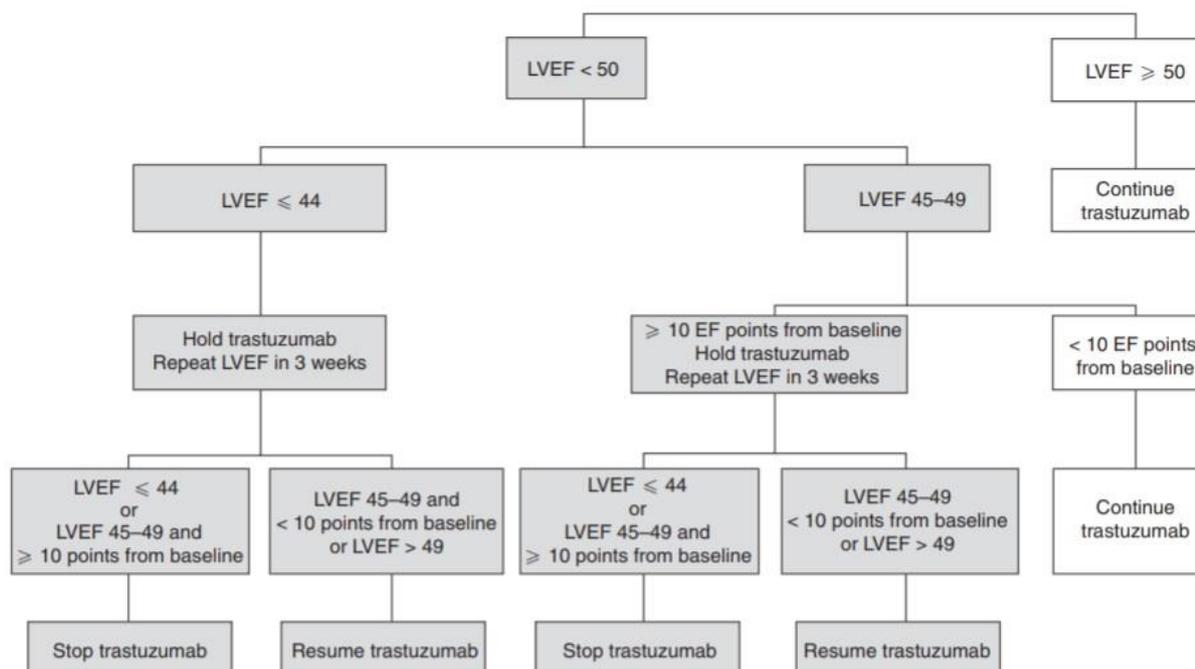


Рис. 2 – Рекомендации по мониторингу функции сердца у пациентов, получающих трастузумаб

Лечением кардиотоксичности должен заниматься врач кардиолог или специалист в кардио-онкологии. Основными препаратами выбора являются ингибиторы АПФ и/или бета-блокаторы. Также, при снижении ФВЛЖ меньше 49% + снижение более чем на 10 процентных пунктов от исходного значения ФВЛЖ, трастузумаб должен быть отменён до восстановления функции сердца [25].

#### Возможности онкологии

Продолжительность адъювантной терапии трастузумабом у пациентов с HER2 позитивным РМЖ составляет 12 месяцев. Это является стандартом на протяжении многих лет, однако, оптимальная продолжительность терапии неизвестна [33]. Основной путь решения проблемы кардиотоксичности в онкологии — это уменьшение продолжительности адъювантной терапии трастузумабом, без потери онкологических результатов лечения, и снижение частоты трастузумаб-индуцированной кардиотоксичности. Первым шагом в этом направлении стало рандомизированное клиническое исследование PHARE, в котором сравнивалась продолжительность адъювантной терапии трастузумабом (6 месяцев против 12 месяцев). Основная гипотеза говорит о том, что продолжительность терапии на протяжении 6 месяцев не хуже (non-inferiority) 12 месячного введения трастузумаба [34]. Но после длительного наблюдения за пациентами (42.5 месяца), исследование не смогло доказать, что 6 месячный курс не уступает по эффективности 12 месячному курсу трастузумаба [35]. Так же были проведены аналогичные исследования, которые не смогли доказать вышеуказанную гипотезу.

Летом 2018 года были представлены обновлённые данные рандомизированного клинического исследования 3 фазы PERSEPHONE (non-inferiority). 4089 пациентов с HER2 позитивным РМЖ рандомизированы (1:1) на две группы: 6 месяцев трастузумаба не хуже 12 месячной терапии. Исследователи определяли non-inferiority как «не хуже 3%». Первичная конечная точка – безрецидивная выживаемость от момента диагностики заболевания (первый рецидив или смерть от любой причины). Дизайн исследования показан ниже (см. рисунок 3) [36].

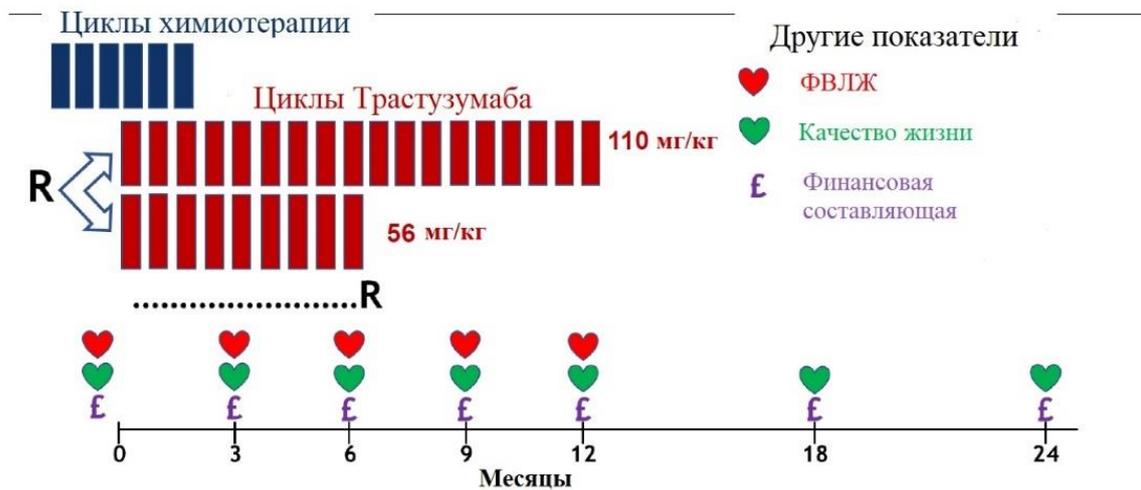


Рис.3 – Дизайн исследования PERSEPHONE

Безрецидивная выживаемость на отметке 4 года в обеих группах была примерно равна 89% ОР 1.07 (90% ДИ 0.93 – 1.24), P=0.01 (см. рисунок 4) [36].

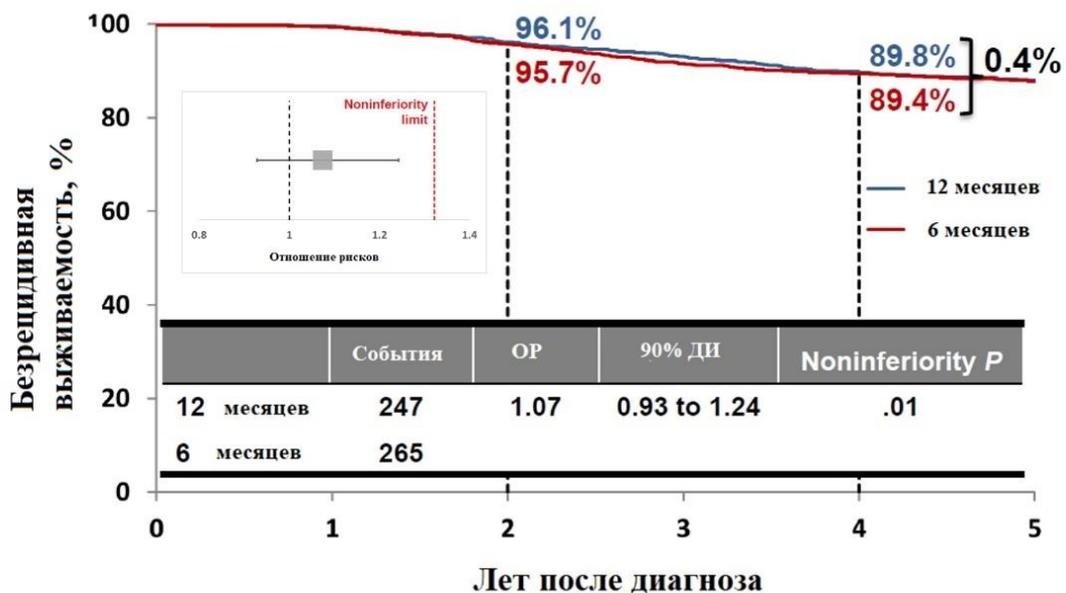


Рис. 4 – Результаты исследования PERSEPHONE - безрецидивная выживаемость на отметке 4 года

Нежелательные явления в виде кардиотоксичности, которые привели к прекращению приёма трастузумаба отмечались реже в группе 6 месячной терапии (4% против 8%, P <0,0001). Учитывая достижения адекватных онкологических и кардиологических результатов, можно в ближайшее время надеяться на снижение стандартной адъювантной терапии трастузумабом до 6 месяцев [36].

**Выводы**

Трастузумаб-индуцированная кардиотоксичность является важной проблемой современной медицины, пока не имеющей чёткого плана её решения. На мой взгляд, профилактические мероприятия по выявлению сердечной недостаточности, а также междисциплинарное взаимодействие кардиологов и онкологов поможет выработать новую стратегию преодоления этой проблемы и добиться лучших результатов лечения у пациентов с HER2 позитивным РМЖ.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Siegel R. L. Cancer statistics, 2017. / Siegel R. L., Miller K. D., Jemal A. // CA: A Cancer Journal for Clinicians. – 2017. – Vol. 67(1). – P. 7–30. doi:10.3322/caac.21387  
 2. Breast cancer facts & figures 2017-2018 [Electronic resource] - URL: <https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/breast-cancer-facts-and-figures/breast-cancer-facts-and-figures-2017-2018.pdf> (accessed: 27.02.19)

3. Cheang M. C. U. Defining breast cancer intrinsic subtypes by quantitative receptor expression / Cheang M. C. U., Martin M., Nielsen T. O. et al. // *The Oncologist*. - 2015. – Vol. 20(5). - P. 474–482. doi:10.1634/theoncologist.2014-0372
4. Brian D. Lehmann Pietenpol Identification of human triple-negative breast cancer subtypes and preclinical models for selection of targeted therapies / Brian D. Lehmann, Joshua A. Bauer, Xi Chen et al. // *J Clin Invest*. - 2011. – Vol. 121(7). - P. 2750-2767. doi:10.1172/JCI45014
5. Cho N. The molecular subtypes and imaging phenotypes of breast cancer / Cho N. // *Ultrasonography*. - 2016. – Vol. 35(4). - P. 281-288. doi:10.14366/usg.16030
6. Slamon D. Human breast cancer: correlation of relapse and survival with amplification of the HER-2/neu oncogene / Slamon D., Clark G., Wong S. et al. // *Science*. - 1987. – Vol. 235(4785). - P. 177–182. doi:10.1126/science.3798106
7. Larionov A.A. Current therapies for human epidermal growth factor receptor 2-positive metastatic breast cancer patients / Larionov A.A. // *Front. Oncol*. - 2018. – Vol. 8:89. doi:10.3389/fonc.2018.00089
8. Gutierrez C. HER 2: Biology, detection, and clinical implications / Gutierrez C, Schiff R. // *Archives of pathology & laboratory medicine*. - 2011. – Vol. 135(1). - P. 55-62. doi:10.1043/2010-0454-RAR.1
9. Krishnamurti, U. HER2 in breast cancer: a review and update / Krishnamurti, U., Silverman, J. F // *Advances in Anatomic Pathology*. - 2014. – Vol. 21(2). - P. 100–107. doi:10.1097/pap.000000000000015
10. Loibl, S. HER2-positive breast cancer / Loibl, S., Gianni, L. // *The Lancet*. - 2017. – Vol. 389(10087). - P. 2415–2429. doi:10.1016/s0140-6736(16)32417-5
11. HERCEPTIN® (trastuzumab) [Electronic resource] - URL: [https://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda\\_docs/label/2017/103792s53371bl.pdf](https://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda_docs/label/2017/103792s53371bl.pdf) (accessed: 27.02.19)
12. Klapper L.N. Tumor-inhibitory antibodies to HER-2/ErbB-2 may act by recruiting c-Cbl and enhancing ubiquitination of HER-2 / Klapper L.N., Waterman H., Sela M., Yarden Y. // *Cancer Res*. - 2000. – Vol. 60(13). - P. 3384–3388. PMID: 10910043
13. M. Fiuza Trastuzumab and cardiotoxicity / M. Fiuza and A. Magalhaes // *Cardiotoxicity of oncologic treatments*, ISBN: 978-953-51-0273-1, InTech [Electronic resource] - URL: <http://www.intechopen.com/books/cardiotoxicity-of-oncologic-treatments/trastuzumab-and-cardiotoxicity> (accessed: 27.02.19)
14. Boekhout, A. H. Trastuzumab / Boekhout, A. H., Beijnen, J. H., Schellens, J. H. M. // *The Oncologist*. - 2011. – Vol. 16(6). - P. 800–810. doi:10.1634/theoncologist.2010-0035
15. Leveque, D. Clinical pharmacology of trastuzumab / Leveque, D., Gigou, L., Bergerat, J. // *Current Clinical Pharmacology*. - 2008. – Vol. 3(1). - P. 51–55. doi:10.2174/157488408783329931
16. Slamon DJ, Eiermann W, ...and On Behalf of the BCIRG-006 Investigators. Ten year follow-up of BCIRG-006 comparing doxorubicin plus cyclophosphamide followed by docetaxel (AC→T) with doxorubicin plus cyclophosphamide followed by docetaxel and trastuzumab (AC→TH) with docetaxel, carboplatin and trastuzumab (TCH) in HER2+ early breast cancer. [abstract]. In: *Proceedings of the Thirty-Eighth Annual CTRC-AACR San Antonio Breast Cancer Symposium: 2015 Dec 8-12; San Antonio, TX. Philadelphia (PA): AACR; Cancer Res 2016;76(4 Suppl): Abstract nr S5-04.*
17. Kristeleit H. Long-term follow-up data from pivotal studies of adjuvant trastuzumab in early breast cancer / Kristeleit H., Parton M., Beresford M. et al. // *Targeted Oncology*. - 2016. – Vol. 11(5). - P. 579–591. doi:10.1007/s11523-016-0438-5
18. Cameron D. 11 years' follow-up of trastuzumab after adjuvant chemotherapy in HER2-positive early breast cancer: final analysis of the HERceptin Adjuvant (HERA) trial / Cameron D., Piccart-Gebhart M. J., Gelber R. D. // *The Lancet*. - 2017. – Vol. 389(10075). - P. 1195–1205. doi:10.1016/s0140-6736(16)32616-2
19. Suter T. M. Cancer drugs and the heart: importance and management / Suter T. M., Ewer M. S. // *European Heart Journal*. - 2012. – Vol. 34(15). - P. 1102–1111. doi:10.1093/eurheartj/ehs181
20. Onitilo A. A. Cardiovascular toxicity associated with adjuvant trastuzumab therapy: prevalence, patient characteristics, and risk factors / Onitilo A. A., Engel J. M., Stankowski R. V. // *Therapeutic Advances in Drug Safety*. - 2014. – Vol. 5(4). - P. 154–166. doi:10.1177/2042098614529603
21. De Keulenaer G. W. The vulnerability of the heart as a pluricellular paracrine organ: lessons from unexpected triggers of heart failure in targeted ErbB2 anticancer therapy / De Keulenaer G. W., Doggen K., Lemmens K. // *Circulation Research*. - 2010. – Vol. 106(1). - P. 35–46. doi:10.1161/circresaha.109.205906
22. Zeglinski M. Trastuzumab-induced cardiac dysfunction: a “dual-hit” / Zeglinski M., Ludke A., Jassal D.S., Singal P.K. // *Experimental & Clinical Cardiology*. - 2011. – Vol. 16(3). - P. 70-74. PMID: 22065936
23. Mantarro S. Risk of severe cardiotoxicity following treatment with trastuzumab: a meta-analysis of randomized and cohort studies of 29,000 women with breast cancer / Mantarro S., Rossi M., Bonifazi M. et al. // *Internal and Emergency Medicine*. - 2015. – Vol. 11(1). - P. 123–140. doi:10.1007/s11739-015-1362-x
24. Jawa Z. Risk factors of trastuzumab-induced cardiotoxicity in breast cancer / Jawa Z., Perez R. M., Garlie L. // *Medicine (Baltimore)*. - 2016. – Vol. 95(44), - e5195. doi:10.1097/md.0000000000005195
25. Zamorano J. L. 2016 ESC Position Paper on cancer treatments and cardiovascular toxicity developed under the auspices of the ESC Committee for Practice Guidelines / Zamorano J. L., Lancellotti P., Rodriguez Munoz D. et al. // *European Heart Journal*. - 2016. – Vol. 37(36). - P. 2768–2801. doi:10.1093/eurheartj/ehw211
26. Cardinale D. Trastuzumab-induced cardiotoxicity: clinical and prognostic implications of troponin I evaluation / Cardinale D., Colombo A., Torrisi R. et al. // *Journal of Clinical Oncology*. - 2010. – Vol. 28(25). - P. 3910–3916. doi:10.1200/jco.2009.27.3615
27. Ky B. Early increases in multiple biomarkers predict subsequent cardiotoxicity in patients with breast cancer treated with doxorubicin, taxanes, and trastuzumab / Ky B., Putt M., Sawaya H. // *Journal of the American College of Cardiology*. - 2014. – Vol. 63(8). - P. 809–816. doi:10.1016/j.jacc.2013.10.061
28. M.A. Nicolazzi Anthracycline and trastuzumab-induced cardiotoxicity in breast cancer / M.A. Nicolazzi, A. Carnicelli, M. Fuorlo et al. // *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. - 2018. – Vol. 22 (7). - P. 2175-2185. doi:10.26355/eurrev\_201804\_14752
29. Ledwidge M. Natriuretic peptide-based screening and collaborative care for heart failure / Ledwidge M., Gallagher J., Conlon C. et al. // *JAMA*. - 2013. – Vol. 310(1). - P. 66-74. doi:10.1001/jama.2013.7588

30. Putt M. Longitudinal changes in multiple biomarkers are associated with cardiotoxicity in breast cancer patients treated with doxorubicin, taxanes, and trastuzumab / Putt M., Hahn V. S., Januzzi J. L. et al. // *Clinical Chemistry*. - 2015. – Vol. 61(9). - P. 1164–1172. doi:10.1373/clinchem.2015.241232
31. Cardinale D. Anthracycline-induced cardiomyopathy / Cardinale D., Colombo A., Lamantia G. et al. // *Journal of the American College of Cardiology*. - 2010. – Vol. 55(3). - P. 213–220. doi: 10.1016/j.jacc.2009.03.095
32. Jones A. L. Management of cardiac health in trastuzumab-treated patients with breast cancer: updated United Kingdom National Cancer Research Institute recommendations for monitoring / Jones A. L., Barlow M., Barrett-Lee P. J. et al. // *British Journal of Cancer*. - 2009. – Vol. 100(5). - P. 684–692. doi:10.1038/sj.bjc.6604909
33. Hiller L. Adjuvant trastuzumab duration trials in HER2 positive breast cancer – what results would be practice-changing? Persephone investigator questionnaire prior to primary endpoint results / Hiller L., Dunn J. A., Loi S. et al. // *BMC Cancer*. - 2018. – Vol. 18(1). - P. 391. doi:10.1186/s12885-018-4307-8
34. Pivot X. 6 months versus 12 months of adjuvant trastuzumab for patients with HER2-positive early breast cancer (PHARE): a randomised phase 3 trial / Pivot X., Romieu G., Debled M. et al. // *The Lancet Oncology*. - 2013. – Vol. 14(8). - P. 741–748. doi:10.1016/s1470-2045(13)70225-0
35. Kramar A. Trastuzumab duration effects within patient prognostic subgroups in the PHARE trial / Kramar A., Bachelot T., Madrange N. et al. // *Annals of Oncology*. - 2014. – Vol. 25(8). - P. 1563–1570. doi:10.1093/annonc/mdu177
36. Earl H. M. PERSEPHONE: 6 versus 12 months (m) of adjuvant trastuzumab in patients (pts) with HER2 positive (+) early breast cancer (EBC): Randomised phase 3 non-inferiority trial with definitive 4-year (yr) disease-free survival (DFS) results / Earl H. M. et al. // *Journal of Clinical Oncology*. - 2018. - №36(15 Suppl.). - Abstr. 506. doi:10.1200/JCO.2018.36.15\_suppl.506

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.025>

## РОЛЬ ПРОПРОТЕИН КОНВЕРТАЗЫ СУБТИЛИЗИН/КЕКСИН ТИПА 9 (PCSK-9) В МЕТАБОЛИЗМЕ ХОЛЕСТЕРИНА И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛИПИДКОРРИГУЮЩЕЙ ТЕРАПИИ

Научная статья

Чаулин А.М.<sup>1,\*</sup>, Мазаев А.Ю.<sup>2</sup>, Александров А.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-2712-0227,

<sup>1</sup> ГБУЗ Самарский областной клинический кардиологический диспансер, Самара, Россия;

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет Минздрава России, Самара, Россия;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Клиники Самарского государственного медицинского университета Минздрава России, Самара, Россия;

<sup>3</sup> ООО ИНВИТРО-Самара, Самара, Россия

\* Корреспондирующий автор (alekseymichailovich22976[at]gmail.com)

### Аннотация

Пропропротеин-конвертаза субтилизин/кексин типа 9 (PCSK-9) является важнейшим ферментом, который регулирует циркулирующие уровни липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), благодаря своей центральной роли в разрушении рецепторов липопротеинов низкой плотности (рЛПНП), расположенных на поверхности гепатоцитов. В литературном обзоре рассматриваются ключевые исследования, которые позволили установить механизм действия PCSK-9, что привело к разработке нового класса липидпонижающих препаратов – ингибиторов PCSK-9.

**Ключевые слова:** пропротеин конвертаза субтилизин/кексин типа 9, холестерин, липопротеины низкой плотности, ингибиторы PCSK-9.

## THE ROLE OF PROPROTEIN CONVERTASE SUBTILISIN/KEXIN OF TYPE 9 (PCSK-9) IN CHOLESTEROL METABOLISM AND NEW OPPORTUNITIES OF LIPID CORRECTIVE THERAPY

Research article

Chaulin A.M.<sup>1,\*</sup>, Mazaev A.Yu.<sup>2</sup>, Aleksandrov A.G.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-2712-0227,

<sup>1</sup> SBHI Samara Regional Clinical Cardiology Dispensary, Samara, Russia;

<sup>1</sup> FSBEI of HE Samara State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Samara, Russia;

<sup>2</sup> FSBEI of HE Clinics of the Samara State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Samara, Russia;

<sup>3</sup> LLC INVITRO-Samara, Samara, Russia

\* Corresponding author (alekseymichailovich22976[at]gmail.com)

### Abstract

Proprotein-convertase subtilisin/kexin of type 9 (PCSK-9) is an essential enzyme that regulates the circulating levels of low-density lipoprotein (LDL), due to its central role in the destruction of low-density lipoprotein receptors (RLPN) located on the surface of hepatocytes. The literature review examines the key studies that allowed us to establish the mechanism of action of PCSK-9, which has led to the development of a new class of lipid-lowering drugs – PCSK-9 inhibitors.

**Keywords:** proprotein convertase subtilisin/kexin of type 9, cholesterol, low-density lipoproteins, PCSK-9 inhibitors.

### Введение. Исторические предпосылки открытия PCSK-9

В настоящее время общепризнано, что повышенный уровень общего холестерина (ОХС) и липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) значительно увеличивает риск возникновения атеросклероза и последующее прогрессирование сердечно-сосудистых заболеваний. На сегодняшний день лечение ингибиторами биосинтеза холестерина – статинами остается основным для пациентов с гиперхолестеринемией. Однако, у многих пациентов статиновая терапия не приводит к достижению целевых уровней ХС и ЛПНП. Кроме того, более чем у 30% пациентов наблюдается непереносимость препаратов статинов, особенно часто встречаются побочные эффекты со стороны мышц [1], [2]. В сложившейся ситуации возникла необходимость в поиске дополнительных мишеней с принципиально иным механизмом действия.

В 2003 г. канадским исследователем Seidah N.G. был идентифицирован фермент – пропротеин конвертаза субтилизин кексин типа 9 (PCSK-9). Первоначально считалось, что PCSK-9 участвует в регенерации печени и дифференцировке нейронов [3].

Abifadel с коллегами, при помощи секвенирования обнаружили две миссенс-мутации (S127R, F216L) в гене, локализованном на 1-ой хромосоме и кодирующем информацию о протеине PCSK-9, у пациентов с семейной гиперхолестеринемией (СГ). При данных мутациях возникало рефрактерное к гиполипидемической терапии повышение ОХС и ЛПНП, приводившее к преждевременному развитию ишемической болезни сердца (ИБС) и смерти в молодом возрасте. [4]. Вскоре появились сообщения о другой миссенс-мутации PCSK-9 D374Y у пациентов с СГ из Юты, Норвегии и Великобритании. При данной мутации также резко увеличивался риск возникновения коронарного атеросклероза [5], [6], [7]. Позднее было установлено, что эти мутации сопровождаются усилением активности PCSK-9.

В последующих когортных исследованиях были обнаружены 3 мутации PCSK-9 (С679Х, Y142Х, R46L), которые сопровождаются более низкими концентрациями ОХС и ЛПНП в крови и снижением риска возникновения ИБС. При данных трех мутациях отмечалось снижение активности PCSK-9 [8], [9]. В результате этих наблюдений, PCSK-9 стал привлекательной лекарственной мишенью и предметом дальнейших исследований.

На настоящий момент открыто и изучено более 50 мутаций и полиморфизмов PCSK-9, приводящих к изменению концентраций ОХС и ЛПНП в крови людей. Все они условно подразделяются на 2 группы:

1) мутации/полиморфизмы, сопровождающиеся усилением активности PCSK-9, что вызывает повышение концентрации ЛПНП в крови и увеличивает риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний;

2) мутации/полиморфизмы, сопровождающиеся снижением активности PCSK-9, что ведет к гипохолестеринемии и снижению сердечно-сосудистого риска.

### **Строение и функции PCSK-9**

Белок PCSK-9 представляет собой сериновую протеазу семейства субтилаз (протеиновых конвертаз), главным образом экспрессируется в печени и в гораздо меньшей степени в головном мозге, кишечнике, почках. Синтезируется PCSK-9 на рибосомах эндоплазматического ретикула (ЭР) в виде неактивного предшественника (зимогена) – про-PCSK-9 с молекулярной массой 72 кДа, который после посттрансляционных модификаций в цистернах ЭР и аппарате Гольджи превращается в зрелый фермент PCSK-9. Основная функция PCSK-9 заключается в регуляции численности рЛПНП на поверхности гепатоцитов.

Молекулы PCSK-9 секретируются во внеклеточное пространство и связываются с расположенными на клеточной мембране гепатоцитов рЛПНП с образованием комплексов PCSK-9-рЛПНП. Затем эти комплексы погружаются внутрь (интернализуются) внутрь гепатоцитов посредством эндоцитоза и разрушаются в лизосомах. Таким образом, чем больше образовалось PCSK-9 в клетке, тем выше его концентрация в крови и тем больше рЛПНП будет захвачено и разрушено. Кроме того, существуют предположения, что PCSK-9 нарушает биосинтез частиц рЛПНП в гепатоците на уровне посттрансляционных модификаций в ЭР и аппарате Гольджи [10].

В результате опосредованного высоким содержанием PCSK-9, резкого снижения количества рЛПНП на поверхности клеток печени, большинство частиц ЛПНП не смогут прикрепиться к гепатоциту и элиминироваться из организма по маршруту: гепатоцит → желчь → кишечник → каловые массы. А продолжают циркулировать и накапливаться в крови, приводя к гиперхолестеринемии, что будет сопровождаться избыточной доставкой ХС в стенки сосудов и развитием атеросклероза.

### **Фармакологические ингибиторы PCSK-9**

Наиболее многообещающими препаратами оказались человеческие моноклональные антитела против PCSK-9. В результате I и II фаз клинических испытаний три препарата моноклональных антител: Алирокумаб, Эволокумаб, Бокозицимаб продемонстрировали дозозависимое безопасное и эффективное снижение ЛПНП на 60-70% при подкожном введении раз в две-четыре недели. Кроме того, не наблюдалось значительных побочных эффектов, кроме незначительных аллергических реакций на месте введения [11], [12]. Три крупных исследования фазы III клинических испытаний FOURIER, ODYSSEY, SPIRE однозначно показали, что ингибиторы PCSK-9 надежно и безопасно снижают уровни ЛПНП в сыворотке крови, не зависимо от проводимой фоновой липидснижающей терапии и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Однако, программа SPIRE была остановлена, т.к. у значительной части пациентов образовались антитела против препарата бокозицимаб, что скорее всего было связано с тем, данный препарат является гуманизированным и содержит не полностью человеческие антитела, по сравнению с алирокумабом и эволокумабом, которые содержат полностью человеческие моноклональные антитела [13], [14], [15].

В 2015 г. препараты Алирокумаб и Эволокумаб, прошедшие все стадии клинических испытаний были одобрены регулирующими органами в США и Европе для практического использования. С 2016 данные препараты также разрешены для клинического применения в России. Они могут назначаться при длительном первичной гиперхолестеринемии или смешанных дислипидемиях, как в составе комплексной терапии совместно со статинами, так и в виде монотерапии в дополнении к диете. Данные препараты обладают некоторыми преимуществами по сравнению со статинами, заключающимися в более эффективном снижении уровней ХС и ЛПНП, а также отсутствием ряда кратковременных побочных эффектов, свойственных статинам (миотоксичность, гепатотоксичность и др.). Однако, весомый недостаток на данный момент, ограничивающий повсеместное применение, заключается в их высокой стоимости.

Альтернативные стратегии ингибирования PCSK-9 включают разработку антисмысловых нуклеотидов, малых интерферирующих рибонуклеиновых кислот (миРНК), вакцин и низкомолекулярных пептидов.

Антисмысловые нуклеотиды и миРНК основаны на технологиях редактирования генома или сайленсинга. Препарат Инклизиран представляет собой полностью химически модифицированную стабилизированную PCSK-9-специфическую миРНК. В клиническом исследовании ORION-1 была показана эффективность в отношении снижения ЛПНП в крови и отсутствие серьезных нежелательных последствий [16].

Другой весьма перспективной стратегией долгосрочного ингибирования PCSK-9 считается вакцинация на основе пептидов, которые стимулируют иммунную систему к выработке специфических антител против PCSK-9. Несмотря на то, что активная вакцинация оказывает тот же терапевтический эффект, что и пассивное введение готовых антител против PCSK9, этот эффект может быть достигнут меньшим количеством инъекций, более низкой дозой с соответственно, будет экономически выгоднее. На данный момент проводятся экспериментальные и клинические исследования для оценки эффективности, безопасности и разработке оптимальной схемы иммунизации [17], [18].

### **Конфликт интересов**

Не указан.

### **Conflict of Interest**

None declared.

### **Список литературы / References**

1. Stroes E.S. Statin-associated muscle symptoms: impact on statin therapy-European atherosclerosis society consensus panel statement on assessment, aetiology and management / Stroes E.S., Thompson P.D., Corsini A. and others // Eur. Heart J. 2015. Vol. 36, № 17. P. 1012-1022. doi: 10.1093/eurheartj/ehv043
2. Al-Mohaisen M.A. Statin-associated muscle adverse events: update for clinicians / Al-Mohaisen M.A., Ignaszewski M.J., Frohlich J. and others // Sultan Qaboos Univ. Med. J. 2016. Vol. 16, № 4. e406-e415. doi: 10.18295 / squmj.2016.16.04.002

3. Seidah N.G. The secretory proprotein convertase neural apoptosis-regulated convertase 1 (NARC-1): liver regeneration and neuronal differentiation / Seidah N.G., Benjannet S., Wickham L. and others // *Proc. Natl. Acad. Sci USA*. 2003. Vol. 100, № 3. P. 928-933. doi: 10.1073/pnas.0335507100
4. Abifadel M. Mutations in PCSK9 cause autosomal dominant hypercholesterolemia / Abifadel M., Varret M., Rabes J.P., and others // *Nat. Genet.* 2003. Vol. 34. P. 154-156. doi: 10.1038/ng1161
5. Timms K.M. A mutation in PCSK9 causing autosomal-dominant hypercholesterolemia in a Utah pedigree / Timms K.M., Wagner S., Samuels M.E. and others // *Hum. Genet.* 2004. Vol. 114, № 4. P. 349-353. doi: 10.1007/s00439-003-1071-9
6. Leren T.P. Mutations in the PCSK9 gene in Norwegian subjects with autosomal dominant hypercholesterolemia / Leren T.P. // *Clin. Genet.* 2004. Vol. 65, № 5. P. 419-422. doi: 10.1111 / j.0009-9163.2004.0238.x
7. Naoumova R.P. Severe hypercholesterolemia in four British families with the D374Y mutation in the PCSK9 gene: longterm follow-up and treatment response / Naoumova R.P., Tosi I., Patel D. and others // *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2005. Vol. 25, № 12. P. 2654-2660. doi: 10.1161/01.ATV.0000190668.94752.ab
8. Cohen J. Low LDL cholesterol in individuals of African descent resulting from frequent nonsense mutations in PCSK9 / Cohen J., Pertsemlidis A., Kotowski I.K. and others // *Nat. Genet.* 2005. Vol. 37, № 2. P. 161-165. doi: 10.1038/ng1509
9. Cohen J.C. Sequence variations in PCSK9, low LDL, and protection against coronary heart disease // Cohen J.C., Boerwinkle E., Mosley T.H.Jr. and others // *Med.* 2006. Vol. 354, № 12. P. 1264-1272. doi: 10.1056/NEJMoa054013
10. Maxwell K.N. Overexpression of PCSK9 accelerates the degradation of the LDLR in a post-endoplasmic reticulum compartment / Maxwell K.N., Fisher E.A., Breslow J.L. and others // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2005. Vol. 102, № 6. P. 2069-2074. doi: 10.1073/pnas.0409736102
11. Stein E.A. Reduction of low-density lipoprotein cholesterol by monoclonal antibody inhibition of PCSK9 / Stein E.A., Raal F. // *Annu Rev. Med.* 2014. Vol. 65. P. 417-431. doi: 10.1146/annurev-med-022613-090402
12. Bergeron N. Proprotein convertase subtilisin/kexin type 9 inhibition: a new therapeutic mechanism for reducing cardiovascular disease risk / Bergeron N., Phan B.A.P., Ding Y. and others // *Circulation* 2015. Vol. 132, № 17. P. 1648-1666. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.016080
13. Robinson J.G. Efficacy and safety of alirocumab in reducing lipids and cardiovascular events / Robinson J.G., Farnier M., Krempf M. and others // *N. Engl. J. Med.* 2015. Vol. 372, № 16. P. 1489-1499. doi: 10.1056/NEJMoa1501031
14. Sabatine M.S. Evolocumab and clinical outcomes in patients with cardiovascular disease / Sabatine M.S., Giugliano R.P., Keech A.C. and others // *N. Engl. J. Med.* 2017. Vol. 376, № 18. P. 1713-1722. doi: 10.1056/NEJMoa1615664
15. Ridker P.M. Cardiovascular efficacy and safety of bococizumab in high-risk patients / Ridker P.M., Revkin J., Amarenco P. and others // *N. Engl. J. Med.* 2017. Vol. 376, № 16. P. 1527-1539. doi: 10.1056/NEJMoa1701488
16. Ray K.K. Effect of an siRNA Therapeutic Targeting PCSK9 on Atherogenic Lipoproteins / Ray K.K., Stoekenbroek R.M., Kallend D. and others // *Circulation.* 2018. Vol. 138, № 13. P. 1304-1316. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.118.034710
17. Crossey E. A cholesterol-lowering VLP vaccine that targets PCSK9 / Crossey E., Amar M.J.A., Sampson M. and others // *Vaccine.* 2015. Vol. 33, № 43. P. 5747-5755. doi: 10.1016/j.vaccine.2015.09.044
18. Weisshaar S. Vaccines Targeting PCSK9: A Promising Alternative to Passive Immunization with Monoclonal Antibodies in the Management of Hyperlipidaemia? / Weisshaar S., Zeitlinger M. // *Drugs.* 2018. Vol. 78, № 8. P. 799-808. doi: 10.1007/s40265-018-0915-5

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.026>

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТОРФА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ЗЕРНОПРОПАШНОГО СЕВООБОРОТА

Научная статья

Анисимова Т.Ю. \*

ORCID:0000-0003-1654-7783,

Всероссийский НИИ органических удобрений и торфа Верхневолжский ФАНЦ, Вяткино, Россия

\* Корреспондирующий автор (anistan2009[at]mail.ru)

### Аннотация

Применение торфа как компонента для приготовления компостов – важный фактор повышения продуктивности агроэкосистем. Нами, в течение двух ротаций 4-х польного севооборота «картофель – ячмень – однолетние травы – озимая пшеница», изучено влияние низинного торфа, торфопометного компоста и подстилочного навоза, их совместного применения с минеральными удобрениями на продуктивность культур полевого севооборота. В среднем за две ротации наибольшая урожайность отмечена в вариантах с подстилочным навозом и торфопометным компостом – 10,75-12,13 т/га з.е. при 8,03 т/га з.е. в контроле, без удобрений. Применение N80PK способствовало повышению относительной урожайности примерно на 20%, торфопометного компоста и подстилочного навоза – на 33-35%. Внесение 1 т торфопометного компоста было наиболее выгодно и обеспечило получение 148 кг з.е., что в 7,18 раз больше, чем при внесении низинного торфа в чистом виде. Именно поэтому торф выгоднее использовать в виде компостов, особенно в составе торфопометного компоста.

**Ключевые слова:** торф, торфопометный компост, минеральные удобрения, дерново-подзолистая почва, продуктивность севооборота.

## RESPONSES OF THE PRODUCTIVITY OF GRAIN-CROPS CROP ROTATION TO ORGANIC FERTILIZERS BASED ON PEAT

Research article

Anisimova T. Yu. \*

ORCID:0000-0003-1654-7783,

All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat Upper Volga Federal Agrarian Research Centre», Vyatkinо, Russia

\* Corresponding author (anistan2009[at]mail.ru)

### Abstract

The use of peat as a component for preparation of compost is an important factor for improving the productivity of agroecosystems. Us, for two rotations of fourfold rotation "potato – barley – annual grasses – winter wheat", the influence of lowland peat corporatelo go compost and manure litter, their combined application with mineral fertilizers on productivity of crop rotation. The average for the two rotation the highest yields observed in variants with litter with manure and compost morphometry – 10.75-12.13 t ha<sup>-1</sup> of grain units (g.u.) in 8.03 g.u. (t ha<sup>-1</sup>) in the control, without fertilizer. Independently from the organic fertilizers, aplication N<sub>80</sub>PK increased the relative crop yield by approximately 20% in composted peat-poultry manure and 33-35% in manure of cattle, peat for almost all the crops. Introduction 1 t peat-poultry compost was the most beneficial and deliver 148 kg z.e. what 7.18 times more than when you make lowland peat in the pure form.

**Key words:** peat, peat-poultry compost, fertilizer, sod-podzolic soil, productivity of crop rotation.

### Introduction

The most important role in improving soil fertility, increasing crop yields and improving quality, belongs to organic fertilizers, including on the basis of peat [7], [8], [9].

Peat refers to renewable natural resources and is of great importance in solving the problem of preservation and improvement of soil fertility [1], [6].

In Russia, marshes and wetlands with the presence of peat is 21% of the territory. Resources of peat posted by 57.4 thousand fields with a total area of 50.8 million hectares and are estimated at 180 billion tons or more [3].

The use of organic fertilizers is one of the most powerful factors for increasing soil fertility by improving physical, chemical and biological properties of the soil [2].

In Russia in long-term field experiments mainly examined the effectiveness of litter manure [8]. In this work, the aim is to study the effectiveness of fertilizers based on peat, and their influence on physico-chemical properties of soil, microbiological activity and crop yield when using spatial-temporal analysis.

### Methods

The study was carried out in the experimental field (Sudogda raion, Vladimir oblast, Russia) in the period 2009-2016 for two fourfold rotations grain crop rotation. Crop rotation: potatoes– barley– annual grasses (vetch-oat mixture) – winter wheat. Soil - sod-podzolic sandy loam soil, formed on red-brown loam covering the moraine (according to IUSS Working Group WRB – Umbric Albelubisols). The average annual temperature in Sudogodsky area of Vladimir region is equal to 3.9°C. The sum of biologically active temperatures - 2000- 2100°C. Annual rainfall – 560-590 mm. In most years of research, the meteorological conditions were close to mean multiyear observations.

Used the following types of organic fertilizer (fertilization practices – FP): cattle manure straw (CM), peat fen (P), peat-poultry compost (PPC). Organic fertilizer made for plowing under potatoes once in four years in the first and second crop rotation in the next 8 years. Dose of organic fertilizer was equivalent to the amount of nitrogen applied with cattle manure – 200 kg N ha<sup>-1</sup>, accepted experience standard. With regard to the content of nitrogen, the average doses of organic fertilizers when making potato was (t ha<sup>-1</sup>): CM – 52.6, P – 58.7, PPC– 27.5. In the experiment studied their effect (in the year of application on potatoes) and the aftereffect (1st – 3rd years after making on barley, vetch-oat mixture and winter wheat) both in pure form and in combination with mineral fertilizers.

The doses of mineral fertilizers depended on the content of total phosphorus and potassium in organic fertilizers. The doses were not higher 280 kg N ha<sup>-1</sup> (N280), 200 kg P ha<sup>-1</sup> (P200), 320 kg K ha<sup>-1</sup> (K320) for the rotation of crop. Ammonium nitrate (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), triple superphosphate [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>•H<sub>2</sub>O] and salt of potash (KCl) were applied prior to planting for the summer crops (potatoes, barley, vetch-oat mixture) and during the resumption of the spring growing season period for winter wheat. Herbicides and fungicides were applied depending on weed pressure, and standard phytosanitary protection was applied according to integrated crop protection principles [4].

Accommodation options in experience systematic. The repeated three-times square plot 48 m<sup>2</sup> (6 x 8).

The study was performed according to the following scheme: (1) control - without fertilizer (WF), (2) cattle manure straw (CM), (3) peat fen (P), (4) peat-poultry compost (PPC), (5) CM + N80PK, (6) P + N80PK, (7) PPC + N80PK.

To estimate total productivity of crop rotation of potato – barley – annual grasses – winter wheat, crop yields were translated in grain units. This used the following conversion factors: for winter wheat, barley – 1.0, potatoes – 0.25, annual grasses – 0.14. Increase of productivity of various types of fertilizers designed to AB-absolute control (without fertilizers).

Statistical analysis was performed using the program STATVUA.EXE. Significant differences between the options criterion LSD, using ONE-WAY ANOVA of varians, the differences between the options were considered significant at p < 0.05. Agronomic profitability of fertilizers (payment) was defined as the yield increase to the control (kg ha<sup>-1</sup> of grain unit) from 1 kg NPK, made with fertilizer [5].

## Results

The relative yields of different crops (t ha<sup>-1</sup> of grain units) during the entire experimental period are reported in Table 1. Independently from the FP, application N<sub>80</sub>PK increased the relative crop yield by approximately 20% in PPC and 33-35% in CM, P for almost all the crops (p < 0.001). The lowest yield of grain units on average for 2 rotations was observed in the control (without fertilizers) – 8.03 t ha<sup>-1</sup>. Among fertilizers, the lowest relative yield was observed in the use of lowland peat in the pure form. Maximum productivity the thrust of the rotation is obtained by introducing litter manure and peat-poultry compost together with N<sub>80</sub>PK – 14.32-14.60 t ha<sup>-1</sup> of grain units.

Table 1 – Average yield per crop type for 2 rotations, t ha<sup>-1</sup> of grain units

Crop FP: NPK:	WF <sup>a</sup>	CM <sup>b</sup>		P <sup>c</sup>		PPC <sup>d</sup>		LSD <sub>05</sub>
	0	0	NPK	0	NPK	0	NPK	
Potatoes	3.24	4.65	6.50	4.19	5.20	5.50	6.48	0.74
Barley	0.84	1.58	2.22	1.00	1.76	1.68	2.25	0.44
Vetch-oat mixture	1.76	1.90	2.36	1.84	2.41	2.21	2.61	0.40
Winter wheat	2.19	2.62	3.24	2.22	3.16	2.74	3.26	0.36
Crop yields: (on average for 2 rotations)	8.03	10.75	14.32	9.25	12.53	12.13	14.60	1.91
(average for the year)	2.01	2.69	3.58	2.31	3.13	3.03	3.65	0.49

LSD of p-value<0.01;

<sup>a</sup>Control - without fertilizer (WF);

<sup>b</sup>Manure of cattle (CM);

<sup>c</sup>Peat (P);

<sup>d</sup>Composted peat-poultry manure (PPC).

Among the used types of fertilizers most long action had peat-poultry compost. The results showed that the average for the two crop rotation using organic fertilizer without chemical fertilizers additionally obtained from 1.21 to 4.07 t ha<sup>-1</sup> of grain units, which accounted for 0.3-1.02 t ha<sup>-1</sup> of grain units per year. In combination with mineral fertilizers, the level of increase was much higher from 4.47 6.77 t ha<sup>-1</sup> of grain units or 1.12-1.69 t ha<sup>-1</sup> of grain units per year (tab. 2). The total content of NPK was increased to the optimal level, average annual nutrient management in grain crop rotation has made N70P21.8K66.4.

The payback of 1 kg of nutrients due to application of organic fertilizers in pure form on average over the two rotations amounted to 4.65 (P)-11.92 (PPC) kg of grain units. In combination with mineral fertilizers, this figure had risen to 7.11(P+N<sub>80</sub>PK) -10.38 (PPC+N<sub>80</sub>PK) kg of grain units. The largest payment of 1 kg of NPK, introduced with fertiliser is noted in the variant with peat-poultry compost in pure form or on the background of NPK: and built and 11.92 10.38 kg of grain units (kg g.u.).

Payment 1 ton of peat (kg of g. u.) was 2 times lower compared to litter manure (43 kg g.u.). Introduction 1 t peat-poultry compost was the most beneficial and deliver 148 kg g.u.). Therefore, the peat is more profitable to use in the form of compost, particularly in peat-poultry compost.

## Conclusions

Application of organic fertilizers based on peat in grain crop rotation on sod-podzolic sandy loam soil contributed to the increase of productivity of grain crops of a crop rotation. The greatest increase in total productivity of crop rotation on average over the two rotations in the application of organic fertilizer made in equal doses of nitrogen, observed in the variant with peat-

poultry compost and amounted to 12.13 t kg of grain units, at 8.03 kg of grain units in control. On the background of mineral fertilizers in all variants of experience on the productivity of plants was higher compared to the organic system of fertilizers on the average of 12-35%.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Berglund Ö. Distribution and cultivation intensity of agricultural peat and gyttja soils in Sweden and estimation of greenhouse gas emissions from cultivated peat soils / Berglund Ö., Berglund K., Geoderma 154, 2010, 173-180. doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.035.
2. Birkhofer K. Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: implications for soil quality, biological control and productivity. Soil Biol / Birkhofer, K., Bezemer, T.M., Bloem, J. and others Biochem. 40, 2008, 2297–2308. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.05.007 (Special Section: Enzymes in the Environment Enzymes in the Environment III).
3. Es'kov, A.I., . Rezultaty i perspektivy issledovaniy po ispolzovzniyu torfa v zemledelii [Results and prospects of research on the use of peat in agriculture] / A.I. Es'kov, T.Y Anisimova., M.N. Novikov. J. Vladimir farmer.-2010.- № 3, - P. 8-10.[in Russian]
4. Häni F. Protection des plantes en production intégrée / Häni F., Popow, G., Reinhard, H. and others, 1990. LmZ Centrale des moyens d'enseignement agricole. Zollikofen.
5. Kiryushin, B.D. Osnovy nauchnyh issledovaniy v agronomii [Basic research in agronomy] / B.D.Kiryushin, R.R. Usmanov, I.P.Vasiliev. - Moscow: Colossus.- 2009. - 398 p. [in Russian]
6. Knieß A. Prediction of long-term changes in ecosystem functions of a peatland site with the semi-quantitative decision support system PMDSS/ Knieß A., Holsten B., Kluge W., 2010, Geoderma 154, 233-241. doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.019 .
7. Maltas, A. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. Soil Tillage Res / Maltas, A., Charles, R., Jeangros, B. and others, 2013, 126, 11–18. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.07.012.
8. Merzlaya, G. E. Effectivnost dlitel'nogo primeneniya organicheskikh i mineralnyh udobreniy na dernovo-podzolistoy legkosuglinistoy pochve [Efficiency of long-term application of organic and mineral fertilizers on sandy loamy soddy-podzolic soil] / G. E. Merzlaya, G.A. Ziyabkina, T.P.Fomkina, A.V.Kozlova, O.V.Makshakova, S.P. Voloshin, O.M.Khromova, I.V.Pankratenkova // J/Agrochemistry. - 2012. - № 2 – P. 37-46. [in Russian]
9. Rasmussen, P.E. Long-Term agroecosystem experiments: assessing agricultural sustainability and global change / Rasmussen, P.E., Goulding, K.W.T., Brown, J.R. and others, 1998, Science 282, 893–896. doi:http://dx.doi.org/10.1126/science.282.5390.893.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.82.4.027>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМЕСИ МЕЛИОРАНТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА  
*RIBES AUREUM PURSH.* В СТЕПНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА  
(НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНОГО ПИТОМНИКА «АК КАЙЫН»)

Научная статья

Рахимжанов А.Н.<sup>1,\*</sup>, Залесов С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6287-8220;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3779-410X;

<sup>1</sup> Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Щучинск, Казахстан;

<sup>2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

\* Корреспондирующий автор (kafri50[at]mail.ru)

**Аннотация**

Одной из проблем лесовыращивания в степных условиях Северного Казахстана является наличие засоленных солонцовых почв, занимающих значительные площади, в том числе на территории лесных питомников. Изучена возможность использования смеси мелиорантов при выращивании посадочного материала *Ribes aureum Pursh.* на солонцовых темно-каштановых почвах (на примере лесного питомника «Ак Кайын»).

Внесение мелиорантов обеспечивает улучшение как количественных, так и качественных показателей выращиваемого посадочного материала. Внесение смеси мелиорантов из золы в дозе 10 т/га и фосфогипса в дозе 20 т/га приводит к увеличению выхода стандартного посадочного материала смородины золотистой в 1,4 раза по сравнению с контролем. Средние показатели сеянцев на опытном участке превышают таковые на контроле по высоте на 96,1%, диаметру корневой шейки на 21,6%, протяженности корней на 62,3% и массе в абсолютно сухом состоянии на 64,7%.

**Ключевые слова:** лесной питомник, посадочный материал, засоленные солонцовые почвы, мелиоранты, *Ribes aureum Pursh.*

USE OF AMELIORANT MIXTURE WHEN GROWING *RIBES AUREUM PURSH.* PLANTING MATERIAL IN  
STEPPE ZONE OF NORTH KAZAKHSTAN (ON THE EXAMPLE OF FOREST NURSERY “AK KAYIN”)

Research article

Rakhimzhanov A.N.<sup>1,\*</sup>, Zalesov S.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6287-8220;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3779-410X;

<sup>1</sup> Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Schuchinsk, Kazakhstan;

<sup>2</sup> Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russia

\* Correspondent author (kafri50[at]mail.ru)

**Abstract**

One of the problems of forest cultivation in the steppe conditions of Northern Kazakhstan is the presence of saline alkaline soils that occupy large areas including forest nurseries. The possibility of using ameliorant mixture when growing *Ribes aureum Pursh.* planting material on solonetz dark chestnut soils (on the example of the forest nursery “Ak Kayin”) was studied.

The introduction of ameliorants provides an improvement in both quantitative and qualitative indicators of the grown planting material. The introduction of ameliorant mixture from ash at a dose of 10 t/ha and phosphogypsum at a dose of 20 t/ha leads to an increase in the yield of standard planting material of currant golden 1.4 times compared with the control. Average indicators of seedlings in the experimental plot exceed those in the height control by 96.1%, root neck diameter by 21.6%, root length by 62.3% and weight in an absolutely dry condition by 64.7%.

**Keywords:** forest nursery, planting material, saline alkaline soils, ameliorants, *Ribes aureum Pursh.*

В оздоровлении окружающей среды важную роль выполняют пригородные леса. С 1997 года согласно поручению Президента Республики Казахстан создается санитарно-защитная зона вокруг города Астаны, площадь которой в настоящее время достигла 78 тыс. га. Ставится задача ее расширения до 100 тыс. га в 2023 г.

Для создания насаждений необходим стандартный посадочный материал различных видов. Одной из проблем лесовыращивания в степных условиях Северного Казахстана является наличие засоленных солонцовых почв, занимающих значительные площади, в том числе на территории лесных питомников. Основной объем работ по созданию зеленой зоны г. Астаны выполняет республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Жасыл Аймак» Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан (РГП «Жасыл Аймак»), поэтому его лесной питомник «Ак Кайын» является ведущей производственной базой по выращиванию посадочного материала в регионе.

Лесной питомник «Ак Кайын» (см. рисунок 1) функционирует с 1997 года. В настоящее время ежегодная потребность в посадочном материале для проведения лесокультурных работ РГП «Жасыл Аймак» составляет около 11 млн. сеянцев.



Рис. 1 – Расположение лесного питомника «Ак Кайын»

В почвенном покрове питомника «Ак Кайын» преобладают солонцеватые темно-каштановые почвы. Общая площадь питомника составляет 110 га, из них 23 га, или 20,9%, занимают темно-каштановые почвы без признаков солонцеватости и засоления; 51,6 га, или 46,9%, - слабо, средне-солонцеватые разновидности темно-каштановых и лугово-каштановых почв со слабой и средней степенью засоления; 35,4 га, или 32,2%, - комплексы данных почв с солонцами от 10 до 25%.

Восстановление плодородия и лесопригодности слитных темно-каштановых солонцевых почв должно основываться на мелиоративных технологиях. Для таких почв химическая мелиорация является основным способом их улучшения, а одним из лучших мелиорантов – фосфогипс.

Фосфогипс представляет собой побочный продукт производства фосфорной кислоты и содержит более 90% гипса. При внесении фосфогипса в почву улучшается водно-воздушный режим, уменьшается плотность почвы, повышаются порозность, аэрация почв, возрастает содержание кислорода и кремнийсодержащих соединений, усиливается поглощательная способность почвы и т.д. [1, С. 84-86], [2, С. 7-9], [3, С. 52-64].

В научной литературе имеется значительное количество работ о положительном влиянии внесения фосфогипса в почву на рост и урожайность сельскохозяйственных культур на черноземах, солонцевых почвах [1, С. 84-86], [4, С. 272-278] [5, С. 73-89] [6, С. 7-9].

Эксперименты, проведенные Литовским научно-исследовательским институтом садоводства, показали, что на нейтральных и щелочных почвах фосфогипс оказывает положительное влияние на урожайность плодов яблони, изменяя уровень питательных веществ в почве и листьях. На 1-й и 2-й год после внесения фосфогипса урожайность плодов увеличилась на 26,7%. Исследования также выявили, что фосфогипс эффективен и в кислой почве [7, С. 455-460].

Опыты израильских ученых доказали эффективность применения фосфогипса в качестве добавки для борьбы с эрозией на насыпях. Так, на типичной родоксеральной (Turic Rhodoxeralf) почве со склоном 48% и участками 10 × 1,5 м, фосфогипс уменьшил сток на 23%, а эрозия оказалась в 2-3 раза меньше, чем на контрольном склоне [8, С. 197-207]. При исследовании влияния добавления фосфогипса в грумосоловые почвы (Израиль) выявлено, что фосфогипс выпускает электролиты в просачивающуюся и стоковую воды, предотвращает рассеивание частиц на поверхности, стабилизирует структуру почвы и уменьшает ее эрозию. Фосфогипс, применяемый в количестве 5 т/га, уменьшал сток примерно до 25% и уменьшал потерю почвы до 1-3% по сравнению с контролем [9, С. 1102-1106]. Успешным было применение комбинации полисахарида и фосфогипса для роста и развития засухоустойчивых многолетних растений. Растения очень хорошо развивались без полива в течение долгого сухого лета. Только через год растения покрыли почву, и высота вьющихся растений составила 0,75-1,5 м, а кустарников – 0,8-1,2 м [10, С. 249-256].

В нашей работе мы исследовали влияние смеси мелиорантов на выращивание посадочного материала *Ribes aureum* Pursh. на солонцеватых темно-каштановых почвах лесного питомника «Ак Кайын».

Первоначально были взяты образцы почв на анализы. Для этого заложили разрезы 1 и 2 в квартале 12 и разрезы 3 и 4 в квартале 16. Химический анализ почвы выполнялся в сертифицированной лаборатории Казахского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова (г. Алматы). Определение органического вещества осуществляли по ГОСТ 26213-91; гумус по методу Тюрина И. В. [11], легкогидролизуемый азот - по методу Тюрина-Кононовой [11],  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – по Мачигину в модификации ЦИНАО [12].

Далее в соответствии с методикой полевого опыта с удобрениями [13, С. 3-69], на территории лесного питомника было выделено два участка:

Первый участок – внесение смеси золы (10 т/га) и фосфогипса (20 т/га);

Второй участок - контрольный, без внесения мелиорантов.

Выбор и дозы мелиорантов, которые дают максимальный положительный эффект, были выявлены в предыдущей нашей работе [14].

Обработка почвы, технология посева, агротехнические уходы на опытном и контрольном участках были аналогичными.

Дата проведения опыта – весна 2014 г.

Фосфогипс был взят у ТОО «Казфосфат» (г. Степногорск), зола – у тепловой электростанции г. Шахтинска, полученная при сжигании каменного угля Карагандинского бассейна. Данная зола была выбрана из-за специфического состава, и содержит до 10% органических остатков, которые являются базовыми элементами воспроизводства гумуса в мелиорируемых почвах.

В качестве объекта исследований из видового состава посадочного материала была выбрана смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh.). Этот вид в настоящее время является перспективной ягодной культурой для степной зоны Северного Казахстана. При изучении данного вида в условиях города Караганды, который расположен в сложных почвенно-климатических характеристиках, было отмечено, что *R. aureum* нетребовательна к почвенным условиям, хорошо растет даже на бедных борových песках и может быть рекомендована в лесные защитные полосы для населенных пунктов Карагандинской области. Одним из недостатков *R. aureum* является слишком длительный рост побегов, что приводит к частому подмерзанию концов побегов на 5-10 см [15, С. 45-48.]. Она достаточно зимостойка, жаро- и засухоустойчива, не требовательна к почвенно-климатическим условиям, дает высокие урожаи ягод и очень декоративна, не поражается болезнями и вредителями. Ее используют для защитного лесоразведения, в озеленении городов и населенных пунктов [16, С. 10-14] [17].

Весной 2015 г. был произведен посев семян смородины золотистой на опытном и контрольном участках.

Химический анализ почв лесного питомника показал (см. таблицу 1), что они характеризуются низкой и средней обеспеченностью подвижным азотом. Потенциальное плодородие почв по содержанию органического вещества - низкообеспеченные (в пределах 1,5-2,7%). В таких малогумусовых маломощных почвах значительно усиливается отрицательное влияние солонцеватости на лесорастительные свойства, и выращивание посадочного материала становится почти невыполнимой задачей. Особо следует отметить, что в указанных почвах весь подвижный фосфор переходит в труднодоступную форму, образуя соль фосфора с карбонатами.

Таблица 1 – Содержание гумуса и подвижных форм азота, фосфора и калия в темно-каштановых солонцеватых почвах

№ квартала, разреза	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	Подвижные, мг/100г почвы в слое 0-30см		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
кв. 12, р. – 1	0-18	2,25	5,6	6,0	35,5
	18-30	1,18	низкая	низкая	высокая
кв. 12, р. - 2	0-12	2,31			
	15-25	3,30			
	45-55	0,82			
кв. 16, р. - 3	0-18	2,06	5,6	4,0	47,3
	30-50	1,40	низкая	низкая	высокая
	50-80	1,12			
кв. 16, р. - 4	18-30	2,55			
	30-50	2,99			
	50-80	0,95			

Данные обмера выращенного посадочного материала *R. aureum* показали, что на опытном участке количество стандартного посадочного материала увеличилось по сравнению с контрольным участком в 1,4 раза.

Внесение мелиорантов оказало положительное влияние на все основные таксационные показатели выращиваемого посадочного материала (см. таблицу 2, рисунок 2).

Украинскими учеными было доказано, что лучшими субстратами для проращивания семян сортов *R. aureum* являются песок, опилки и мох, а почву, перегной и торф использовать нецелесообразно из-за недостаточной аэрации [18, С. 107-112.]. Как известно, фосфогипс также улучшает аэрацию почв, что согласуется с результатами опыта по сравнению с контрольным.

Таблица 2 - Основные биометрические и статистические показатели посадочного материала *Ribes aureum* Pursh., выращенного на лесном питомнике «Ак кайын»

Показатель	Вариант	Среднее значение	Значения		Дисперсия	Коэффициент вариации	Асимметрия	Экссесс
			Минимальное	Максимальное				
Высота, см	Контроль	25,18	23,9	26,7	0,308	2,205	0,332	1,192
	Опыт	49,38	48,8	50,0	0,085	0,591	-0,127	-0,417
Диаметр, см	Контроль	0,37	0,3	0,4	0,002	12,048	-1,112	-0,824
	Опыт	0,45	0,4	0,6	0,003	12,791	0,733	-0,429
Длина корней, см	Контроль	13,52	12,9	14,6	0,097	2,302	1,007	4,563
	Опыт	21,94	21,5	22,3	0,038	0,884	-0,642	0,347
Масса, г	Контроль	4,48	4,1	5,1	0,080	6,327	0,950	-0,292
	Опыт	7,38	7,1	8,0	0,025	2,158	1,376	4,941



Рис. 2 – Посадочный материал *R. aureum* в лесном питомнике «Ак Кайын»

Особо следует подчеркнуть, что различия средних таксационных показателей семян *R. aureum*, выращенных на контрольном и опытном участках, статистически достоверны на 95% уровне значимости.

Таким образом, экспериментально доказано, что внесение мелиорантов в почвы лесного питомника «Ак Кайын» обеспечивает улучшение как количественных, так и качественных показателей выращиваемого посадочного материала. Внесение смеси мелиорантов из золы в дозе 10 т/га и фосфогипса в дозе 20 т/га приводит к увеличению выхода стандартного посадочного материала смородины золотистой в 1,4 раза по сравнению с контролем, где мелиоранты не вносились. При этом средние показатели посадочного материала на опытном участке превышают таковые на контроле по высоте на 96,1%, диаметру корневой шейки на 21,6%, протяженности корней на 62,3% и массе в абсолютно сухом состоянии на 64,7%.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Белюченко И. С. Влияние отходов промышленного и сельскохозяйственного производства на физико-химические свойства почв / И. С. Белюченко, Е. И. Муравьев // Экологический Вестник Северного Кавказа. - 2009. - № 5(1). - С. 84-86.
2. Добрыдnev Е. П. Основные результаты исследования агроэкологической эффективности фосфогипса в земледелии Краснодарского края / Е. П. Добрыдnev, М. Ю. Локтионов // Плодородие. – 2013. - № 1. – С. 7-9.
3. Докучаева Л. М. Использование фосфогипса и фосфогипсосодержащих мелиорантов для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. - № 3(7). – С. 52-64.
4. Кизинек С. В. Эффективность применения фосфогипса как комплексного минерального удобрения в рисовых севооборотах на лугово-черноземных почвах / С. В. Кизинек, А. Х. Шейджен, М. Ю. Локтионов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия Экология. - 2012. – № 2(6). – С. 272–278.
5. Oster J. D. Gypsum usage in irrigated agriculture: A review / J. D. Oster // Fertilizer Research. – 1982. – Vol. 3(1). – P. 73–89. doi:10.1007/BF01063410
6. Федотова Л. С. «Фосфогипс для сельского хозяйства» - эффективное средство повышающее плодородие почвы и продуктивность картофельного севооборота / Федотова Л. С., Тимошина Н. А., Князева Е. В., Трошина А. А. // Экологические проблемы субъектов экономики : материалы международной науч.-практ. конф. 17-18 декабря 2015 г., Пенза / Пензенский государственный технологический университет. – Пенза, 2015. - С. 200-208.
7. Švagzdys S. Use of calcium fertilizers in apple orchards grown on neutral and alkaline soils / S. Švagzdys // Acta Horticulturae. - 1990. – Vol. 274. – P. 455-460. doi:10.17660/ActaHortic.1990.274.58
8. Agassi M. Effect of slope length, aspect and phosphogypsum on runoff and erosion from steep slopes / M. Agassi, M. Ben-Hur // Soil Research. - 1991. – Vol. 29(2). – P. 197-207. doi:10.1071/SR9910197

9. Agassi M. Slope, aspect, and phosphogypsum effects on runoff and erosion / M. Agassi, J. Morin, I. Shainberg // Soil Science Society of America Journal. - 1990. – Vol. 54(4). – P. 1102-1106. doi:10.2136/sssaj1990.03615995005400040030x
10. Agassi M. Stabilizing steep slopes with soil conditioners and plants / M. Agassi, M. Ben-Hur // Soil Technology. - 1992. - Vol. 5(3). – P. 249-256. doi:10.1016/0933-3630(92)90025-V
11. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
12. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
13. Щерба С. В. Методика полевого опыта с удобрениями / С. В. Щерба // Методика полевых и вегетативных опытов с удобрениями и гербицидами. М.: Наука, 1967. - С. 3-69.
14. Кан В. М. Мелиоративные приемы борьбы с коркообразованием на лесном питомнике «Ак Кайын» в Республике Казахстан [Электронный ресурс] / В. М. Кан, С. В. Залесов, А. Н. Рахимжанов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – N 1-1. - URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17592> (дата обращения: 09.03.2019).
15. Кыздарова Д. К. Сравнительная морфологическая характеристика трех видов смородины в условиях Караганды / Д. К. Кыздарова, Р. Т. Мусина, М. А. Норцева // Евразийский союз ученых. - 2015. - № 4-10(13). - С. 45-48.
16. Эрст А. А. Размножение смородины золотистой *in vitro* / А. А. Эрст, Н. А. Вечернина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2008. - № 4(42). – С. 10-14.
17. Иванова Е. А. Перспективные формы *Ribes aureum* Pursh в условиях Южного Урала [Электронный ресурс] / Е. А. Иванова, Ф. К. Джураева, Е. П. Стародубцева // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. - 2016. – N 3. – 9 с. - URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-3/Articles/IAE-2016-3.pdf>.
18. Красноштан Т. В. Стратификация и всхожесть семян сортов смородины золотистой (*Ribes aureum* Pursh.) / Красноштан Т. В., Балабак А. Ф. // Вісник Уманського національного університету садівництва. - 2014. - № 1. - С. 107-112.

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

1. Beljuchenko I. S. Vlijanie othodov promyshlennogo i sel'skohozjajstvennogo proizvodstva na fiziko-himicheskie svojstva pochv [Influence of industrial and agricultural wastes on physical and chemical properties of soils] / I. S. Beljuchenko, E. I. Murav'ev // Jekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza [Environmental Bulletin of the North Caucasus]. - 2009. - № 5(1). - P. 84-86. [in Russian]
2. Dobrydnev E. P. Osnovnye rezultaty issledovaniya agrojekologicheskoy jeffektivnosti fosfogipsa v zemledelii Krasnodarskogo kraja [The main results of the agroecological studies of the effectiveness of phosphogypsum in agriculture in Krasnodar Krai] / E. P. Dobrydnev, M. Ju. Loktionov // Plodorodie [Fertility]. – 2013. - № 1. – P. 7-9. [in Russian]
3. Dokuchaeva L. M. Ispol'zovanie fosfogipsa i fosfogipsosoderzhashhih meliorantov dlja melioracii soloncovyh pochv v uslovijah oroshenija [Use of phosphogypsum and phosphogypsum-containing meliorants for reclamation of saline soils under irrigation conditions] / L. M. Dokuchaeva, R. E. Jurkova, O. Ju. Shalashova // Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems]. – 2012. - № 3(7). – P. 52-64. [in Russian]
4. Kizinek S. V. Jefferktivnost' primeneniya fosfogipsa kak kompleksnogo mineral'nogo udobrenija v risovyh sevooborotah na lugovo-chernozemnyh pochvah [Efficiency of application of phosphogypsum as a complex mineral fertilizer in rice crop rotations on meadow-chernozem soils] / S. V. Kizinek, A. H. Sheudzhen, M. Ju. Loktionov // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego pljus. Serija Jekologija [XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus. Series Ecology]. - 2012. – № 2(6). – P. 272–278. [in Russian]
5. Oster J. D. Gypsum usage in irrigated agriculture: A review / J. D. Oster // Fertilizer Research. – 1982. – Vol. 3(1). – P. 73–89. doi:10.1007/BF01063410
6. Fedotova L. S. «Fosfogips dlja sel'skogo hozjajstva» - jefferktivnoe sredstvo povyshajushhee plodorodie pochvy i produktivnost' kartofel'nogo sevooborota ["Phosphogypsum for agriculture" - an effective means of increasing soil fertility and productivity of potato crop rotation] / Fedotova L. S., Timoshina N. A., Knjazeva E. V., Troshina A. A. // Jekologicheskie problemy sub#ektov jekonomiki : materialy mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. 17-18 dekabrja 2015 g. [Environmental problems of subjects of economy: Materials of International scientific and practical conference 17-18 December 2015], Penza / Пензенский государственный технологический университет [Penza State Technological University]. – Penza, 2015. - pp. 200-208. [in Russian]
7. Švagzdys S. Use of calcium fertilizers in apple orchards grown on neutral and alkaline soils / S. Švagzdys // Acta Horticulturae. - 1990. – Vol. 274. – P. 455-460. doi:10.17660/ActaHortic.1990.274.58
8. Agassi M. Effect of slope length, aspect and phosphogypsum on runoff and erosion from steep slopes / M. Agassi, M. Ben-Hur // Soil Research. - 1991. – Vol. 29(2). – P. 197-207. doi:10.1071/SR9910197
9. Agassi M. Slope, aspect, and phosphogypsum effects on runoff and erosion / M. Agassi, J. Morin, I. Shainberg // Soil Science Society of America Journal. - 1990. – Vol. 54(4). – P. 1102-1106. doi:10.2136/sssaj1990.03615995005400040030x
10. Agassi M. Stabilizing steep slopes with soil conditioners and plants / M. Agassi, M. Ben-Hur // Soil Technology. - 1992. - Vol. 5(3). – P. 249-256. doi:10.1016/0933-3630(92)90025-V
11. GOST 26213-91. Pochvy. Metody opredelenija organicheskogo veshhestva [Soils. Methods for determination of organic matter]. – М. : Izd-vo standartov, 1992. – 8 p. [in Russian]
12. GOST 26205-91. Pochvy. Opredelenie podvizhnyh soedinenij fosfora i kalija po metodu Machigina v modifikacii CINAО [Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Machigin method modified by CINAО]. - М. : Izd-vo standartov, 1992. – 8 p. [in Russian]

13. Shherba S. V. Metodika polevogo opyta s udobrenijami [Method of field experience with fertilizers] / S. V. Shherba // Metodika polevyh i vegetativnyh opytov s udobrenijami i gerbicidami [Methods of field and vegetative experiments with fertilizers and herbicides]. M.: Nauka, 1967. - P. 3-69. [in Russian]
14. Kan V. M. Meliorativnye priemy bor'by s korkoobrazovaniem na lesnom pitomnike «Ak Kajyn» v Respublike Kazahstan [Reclamative ways of crust – forming control on «Ak Kajyn» forest nursery in Republic of Kazakhstan] [Electronic resource] / V. M. Kan, S. V. Zalesov, A. N. Rahimzhanov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern problems of science and education]. – 2015. – N 1-1. - URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17592> (accessed: 09.03.2019). [in Russian]
15. Kyzdarova D. K. Sravnitel'naja morfologicheskaja karakteristika treh vidov smorodiny v uslovijah Karagandy [Comparative morphological characteristics of three species of currants in conditions of Karaganda] / D. K. Kyzdarova, R. T. Musina, M. A. Norceva // Evrazijskij sojuz uchenyh [Eurasian Union of Scientists]. - 2015. - № 4-10(13). - P. 45-48. [in Russian]
16. Jerst A. A. Razmnozenie smorodiny zolotistoj *in vitro* [Propagation *in vitro* of golden currant] / A. A. Jerst, N. A. Vechernina // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altai State Agricultural University]. - 2008. - № 4(42). – P. 10-14. [in Russian]
17. Ivanova E. A. Perspektivnye formy *Ribes aureum* Pursh v uslovijah Juzhnogo Urala [Promising forms of *Ribes aureum* Pursh in conditions of the Southern Ural] [Electronic resource] / E. A. Ivanova, F. K. Dzhuraeva, E. P. Starodubceva // Bjulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN [Bulletin of the Orenburg Scientific Center, Ural Branch of RAS]. - 2016. – N 3. – 9 p. - URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-3/Articles/IAE-2016-3.pdf>. [in Russian]
18. Krasnoshtan T. V. Stratifikacija i vshozhest' semjan sortov smorodiny zolotistoj (*Ribes aureum* Pursh.) [Stratification and germination of seeds of the varieties of golden currant (*Ribes aureum* Pursh.)] / Krasnoshtan T. V., Balabak A. F. // Visnik Umans'kogo nacional'nogo universitetu sadivnictva [Bulletin of Uman National University of Horticulture]. - 2014. - № 1. - C. 107-112. [in Ukrainian]