

№ 3 (93) ▪ 2020  
Часть 1 ▪ Март

---

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

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

Екатеринбург  
2020



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

**№ 3 (93) 2020  
Часть 1  
Март**

Дата выхода 17.03.2020  
Подписано в печать 10.03.2020  
Тираж 200 экз.  
Цена: бесплатно.  
Заказ 295118.  
Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Отпечатано в типографии "А-принт".  
620049, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского, д. 1.

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

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПН № ФС 77 – 51217.**

#### **Члены редколлегии:**

##### **Филологические науки:**

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

##### **Технические науки:**

*Пачурин Г.В.* д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (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);  
Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);  
Ерғашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

**Сельскохозяйственные науки:**

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

**Социологические науки:**

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

**Химические науки:**

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

**Науки о Земле:**

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

**Экономические науки:**

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

**Политические науки:**

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

**Фармацевтические науки:**

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

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

---

Бобров А.А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНО И ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В УЛЬТРАХОЛОДНОМ ГАЗЕ ЗАМАГНИЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ.....	6
--	---

---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

---

Ахмаров И.О. РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С СЕРВЕРОМ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРХИТЕКТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDORID И CUSTOM VIEW.....	10
Фокин Д.С., Карабцев С.Н., Рейн Т.С ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ СЦЕНЫ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ИСКОМЫХ ОБЪЕКТОВ .....	23
Кузин С.И., Никольский В.В. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ .....	37
Латухин А.Ю., Латухина Ю.А. СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	43
Клюева Я.И., Медведева Г.А. НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА. ТЕОРИЯ ПОЛЯ И ВАРИАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ.....	49
Пернебеков С.С., Тортбаева Д.Р., Маханбетжанов М.Н. ОБЗОР МЕТОДИК РАСЧЁТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОРОДСКИХ УЛИЦ .....	57

---

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

---

Серекпаев Н., Стыбаев Г., Байтеленова А., Муханов Н., Курбанбаев А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОРМОВЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА.....	59
Гогаев О.К., Демурова А.Р., Икоева Б.К., Икоева Д.К., Гутиева Л.Н. АБСОЛЮТНАЯ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МАССА ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ПОДОПЫТНЫХ БАРАНЧИКОВ ТУШИНСКОЙ ПОРОДЫ, ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КОРМЛЕНИИ РАЗНЫХ ФОРМ ЙОДА .....	64
Данчева А.В., Залесов С.В., Муканов Б.М. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ В СОСНЯКАХ КАЗАХСКОГО МЕЛКОСОПОЧНИКА.....	68
Оплетаев А.С., Залесов С.В., Жигулин Е.В. СОСТОЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	77
Кирейчева Л.В., Яшин В.М. ИЗУЧЕНИЕ ДИФфуЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ РЕК НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЯХРОМА .....	85
Косенко Т.Г. ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	91
Матвеева И.П., Ким Ю.С, Мирошниченко О.О., Волкова Г.В. ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МАЛООПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ФУНГИЦИДОВ ПРОТИВ ЖЕЛТОЙ РЖАВЧИНЫ В УСЛОВИЯХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ .....	95
Сухомлинова Н.Б., Горбатенко К.И., Степаненко Д.А. РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ – ОСНОВА СОХРАНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОДУКТИВНОСТИ .....	100

---

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY**

---

**Агаева С.В.**

**ВЛИЯНИЕ МЕЛАТОНИНА НА ОБМЕН ГАМК В СТРУКТУРАХ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС В РАННЕМ ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ В УСЛОВИЯХ ТОЛУОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ ..... 105**

**Мамытова М.Т., Ахматов М.К., Абдрашитова Ж.К.**

**ПЕРВИЧНЫЕ ИНТРОДУКЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ САДОВЫХ ФОРМ ХВОЙНЫХ СЕМЕЙСТВА *CUPRESSACEAE* RICH. EX ARTL. В ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЕ..... 110**

**Ильина В.Н., Казанцев И.В., Матвеева Т.Б.**

**К ИНВЕНТАРИЗАЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКЕ РОДНИКОВ КАМЫШЛИНСКОГО РАЙОНА САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ ..... 116**

**Миронов О.А., Муравьева И.П.**

**СОДЕРЖАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЛИПИДНО-УГЛЕВОДОРОДНОГО КОМПЛЕКСА МОЛЛЮСКОВ В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЕРНОЕ МОРЕ) ..... 120**

**Реут А.А., Пупыкина К.А.**

**ОЦЕНКА ДЕКОРАТИВНЫХ КАЧЕСТВ НОВЫХ СОРТОВ ПИОНА СЕЛЕКЦИИ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА-ИНСТИТУТА УФИЦ РАН ..... 125**

**Александрова Е.Ю., Светлова М.В., Троценко А.А.**

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОСЕЛКА ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ И ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА МУРМАНСКА ..... 129**

**Икрами М.Б., Тураева Г.Н., Шарипова М.Б.**

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОРЧИ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ ..... 134**

---

**МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE**

---

**Сорокина Ю.А., Сучилин Д.Н., Рудаков А.С., Занозин А.В., Занозина О.В.**

**ВЗАИМОСВЯЗЬ САХАРОСНИЖАЮЩЕЙ ФАРМАКОТЕРАПИИ С УРОВНЕМ ДЕПРЕССИИ У КОМОРБИДНОГО ПАЦИЕНТА С СД 2 ТИПА ..... 138**

---

**ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOLOGY AND MINERALOGY**

---

**Полиенко А.К., Черненко В.П., Севостьянова О.А.**

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРОЕНИЯ УРОЛИТОВ ИЗ ШТАТА МАДХЬЯ-ПРАДЕШ (ИНДИЯ) И УРОЛИТОВ ИЗ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ (РОССИЯ)..... 141**

**Скуфьин П.К.**

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АКТИВНОГО СТРАТОВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ НА КАМЧАТКЕ..... 148**

---

**ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS**

---

**Петрова О.С., Матвеева Л.В., Сухова Н.А.**

**АКТУАЛЬНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ БАРБИТУРОВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ХИМИКО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ НА ПРИМЕРЕ ЦИКЛОБАРБИТАЛА ..... 155**

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.001>**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЖЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНО И ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В УЛЬТРАХОЛОДНОМ ГАЗЕ ЗАМАГНИЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ**

Научная статья

**Бобров А.А.\***

Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (abobrov[at]inbox.ru)

**Аннотация**

Проведено моделирование методом молекулярной динамики процесса торможения заряженных частиц, движущихся в плотном ультрахолодном замагниченном электронном газе. Рассмотрен случай однородного магнитного поля. Рассмотрено движение ионов с зарядом  $+e$  и  $-e$ . Исследована зависимость эффективности торможения от знака заряда, а также от угла между скоростью иона и направлением магнитного поля. Проведено сравнение результатов моделирования с имеющимися теоретическими моделями и ранее полученными результатами.

**Ключевые слова:** молекулярная динамика, столкновения в плазме, электронное охлаждение.

**BRAKING EFFICIENCY OF POSITIVELY AND NEGATIVELY CHARGED PARTICLES IN ULTRA-COLD GAS OF MAGNETIZED ELECTRONS**

Research article

**Bobrov A.A. \***

Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* Corresponding author (abobrov[at]inbox.ru)

**Abstract**

We performed the molecular dynamics simulation of the braking process of charged particles moving in a dense ultra-cold magnetized electron gas. The case of the uniform magnetic field is considered. The motion of ions with a charge  $+e$  and  $-e$  is considered. The dependence of the braking efficiency on the sign of the charge, as well as on the angle between the ion velocity and the direction of the magnetic field, is investigated. Results of the simulation are compared with available theoretical models, as well as with the previously obtained results.

**Keywords:** molecular dynamics, plasma collisions, electron cooling.

**Введение**

Интерес к задаче о торможении ионов в газе замагниченных электронов впервые возник в связи с идеей электронного охлаждения, впервые предложенной Будкером [1]. В рамках решения задачи о торможении Дербеневым и Скринским была предложена физическая модель [2], [3], позволяющая рассчитать эффективную силу трения, действующую на заряженную частицу.

В последнее время интерес к этой задаче усилился в связи с экспериментами по получению антиводорода [4]. В этих экспериментах для получения атомов антиматерии антипротоны инжектируются в облако замагниченных позитронов. Для описания процессов торможения антипротонов в позитронах также может применяться модель [2], [3].

В теоретических моделях, описывающих торможение ионов как в системе замагниченных частиц [2], [3], так и в обычных кулоновских системах [5] без магнитного поля, результирующие выражения для силы трения получаются симметричными относительно знаков зарядов, то есть содержат величины зарядов взаимодействующих частиц в четной степени. Однако появился ряд численных и экспериментальных результатов, показывающих, что сила трения, действующая на ион, распространяющийся в газе электронов, может зависеть не только от абсолютной величины, но и от знака заряда.

Экспериментальное отличие торможения положительно и отрицательно заряженных ионов в пучке замагниченных электронов было обнаружено в [6]. При этом более сильное трение испытывали отрицательные ионы. Отличия во взаимодействии ионов разного знака с электронным газом были получены в численных расчетах [7]. В этих расчетах решалась задача с изотропным распределением частиц по скоростям и в результате более сильное трение испытывали положительные ионы, в отличие от [6]. В [8] были также проделаны численные расчеты при условии изотропного распределения частиц по скоростям как в сильном магнитном поле, так и без магнитного поля, в результате, как и в [7] сила трения для положительных ионов оказалась больше, чем для отрицательных.

Целью настоящей работы является численное исследование методом молекулярной динамики процессов торможения положительно и отрицательно заряженных ионов в газе замагниченных электронов. Для того, чтобы снять противоречие расчетов [7] и [8] с экспериментальными результатами [6], в настоящей работе в отличие от [7] и [8] проведено исследование зависимости силы трения, действующей на ионы от угла между направлением скорости иона и магнитного поля.

Статья построена следующим образом: сначала приводится краткое описание теоретической модели Дербенева и Скринского, затем описывается метод расчета, в заключение приводятся результаты расчетов и обсуждение.

### Модель Дербенева и Скринского

В модели Дербенева и Скринского [2], [3] сила трения, действующая на ион, движущийся в газе электронов, получается при пренебрежении поперечным движением электронов. То есть рассматривается случай такого сильного магнитного поля, что электроны имеют только одну степень свободы и могут двигаться только по оси, параллельной магнитному полю (то есть являются «замагниченными»). В рамках этой модели в приближении линейного отклика сила трения может быть записана в виде:

$$\vec{F} = \frac{2\pi Z^2 e^4 n}{m} \frac{\partial}{\partial \vec{v}} \left( \frac{v_{\perp}^2}{u_A^3} L^A + 2 \frac{u_{\parallel}^2}{u_A^3} \right), \quad (1)$$

где  $e$  – элементарный заряд,  $Z$  – зарядовое число иона,  $n$  – концентрация электронов,  $m$  – масса электрона,  $\vec{v}$  – скорость иона,  $u_A = \sqrt{v_{\perp}^2 + (v_{\parallel} - v_e)^2}$  – модуль относительной скорости иона и скорости  $v_e$  «ларморовского кружка», представляющего электрон,  $v_{\perp}$  и  $v_{\parallel}$  – компоненты скорости иона поперек и вдоль магнитного поля,  $u_{\parallel} = v_{\parallel} - v_e$ . Кулоновский логарифм  $L^A$  в этом случае записывается в виде

$$L^A = \ln \left( 1 + \frac{u_A}{\omega_0} \frac{m u_A^2}{e^2} \right),$$

где  $\omega_0 = (4\pi n e^2 / m)^{1/2}$  – плазменная частота. Усреднение  $\langle \dots \rangle$  производится по одномерному распределению электронов по скоростям (по компоненте скорости электронов, параллельной магнитному полю).

### Метод расчета

Для моделирования процесса торможения ионов в газе замагниченных электронов применялся метод молекулярной динамики. Один ион с зарядом  $Z=1$  или  $-1$  и с массой, равной массе протона и 200 электронов помещались в кубическую ячейку моделирования.

Начальное распределение электронов по скоростям задавалось соответствующим температуре  $T_e = 15$  К, начальное распределение по координатам задавалось случайным. Концентрация электронов задавалась равной  $n = 2 \times 10^9 \text{ см}^{-3}$ . Вдоль одного из ребер ячейки моделирования было направлено магнитное поле величиной 3 Тл. Эти параметры характерны для экспериментов [4].

Для частиц решались классические уравнения движения в рамках периодических граничных условий в микроканоническом ансамбле. Магнитная сила Лоренца, действующая на заряженные частицы, учитывалась по методу Бориса [9]. Использовался неизменный кулоновский потенциал взаимодействия и метод с переменным шагом, более подробное описание метода см. в [10].

В процессе моделирования скорость иона со временем уменьшалась. Зависимости компонент квадрата скорости иона от времени аппроксимировались экспоненциальной функцией  $v_i^2(t)/v_i^2(0) = \exp(-v_i t)$ , где  $i$  –  $\perp$  или  $\parallel$ ,  $v_i$  – константа затухания.

Для исследования зависимости констант затухания от направления скорости иона, расчеты проводились для разных значений отношения квадрата компонент скорости иона  $r = v_{\parallel}^2/v_{\perp}^2$ , при фиксированной начальной скорости  $v = (v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2)^{1/2} = (2E/m_p)^{1/2}$ , где  $E$  – кинетическая энергия иона,  $m_p$  – масса протона.

### Результаты и обсуждение

Расчеты проведены для трех начальных энергий иона  $E(0)/(3/2k_B) = 7500$ , 15000 и 30000 К. Эти параметры соответствуют трем случаям: скорость иона меньше характерной тепловой скорости электронов для  $T_e = 15$  К (для 7500 К), порядка тепловой скорости (для 15000 К) и больше тепловой скорости (для 30000 К). Для каждого значения энергии и отношения  $r$  проводилось 200 расчетов с разными начальными пространственными распределениями частиц. Затем временные зависимости усреднялись и аппроксимировались экспонентой.

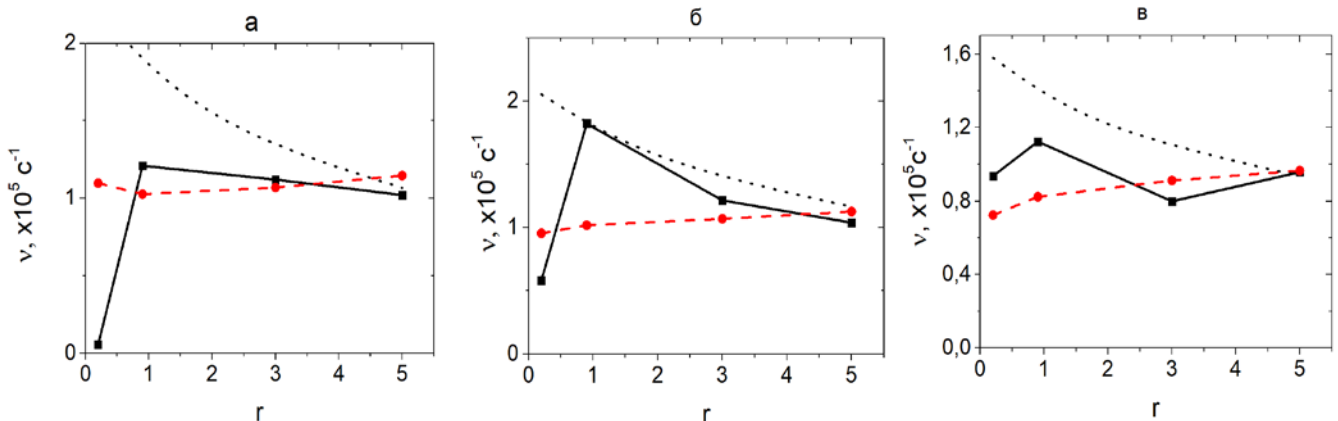


Рис. 1 – Константа затухания  $v_{\parallel}$  для начальной энергии иона 7500 К (а), 15000 К (б) и 30000 К (в): квадраты и сплошная линия –  $Z=+1$ , кружки и пунктир –  $Z=-1$ , короткий пунктир – формула (1)

На рисунке 1 представлены константы затухания для продольного направления. Расчетные значения представлены точками, соединенными отрезками. Также на рисунках нанесены теоретические кривые по формуле (1). Для определения теоретической константы затухания использовалось соотношение:

$$v_i = \frac{2F_i}{m_p v_i}.$$

Из рисунка 1 видно, что торможение положительно заряженных ионов может быть как больше, так и меньше, чем торможение отрицательных ионов. Это объясняет расхождение экспериментальных [6] и численных результатов [7], [8]. В экспериментах исследовались пучки частиц распределение по скоростям в которых сильно анизотропно. Учитывая сильную зависимость торможения от направления скорости иона относительно магнитного поля, результаты при расчетах с усреднением по изотропному распределению могут сильно отличаться то экспериментов с направленными пучками.

Из рисунка также видно, что если для больших значений  $r$  модель (1) качественно описывает поведение силы трения, то для малых  $r$  теоретические значения отличаются от расчетных. При этом отличие для положительных и отрицательных ионов неодинаково. По-видимому, для описания торможения при малых  $r$  недостаточно приближение линейного отклика [2] и требуется самосогласованный учет взаимодействия флуктуаций.

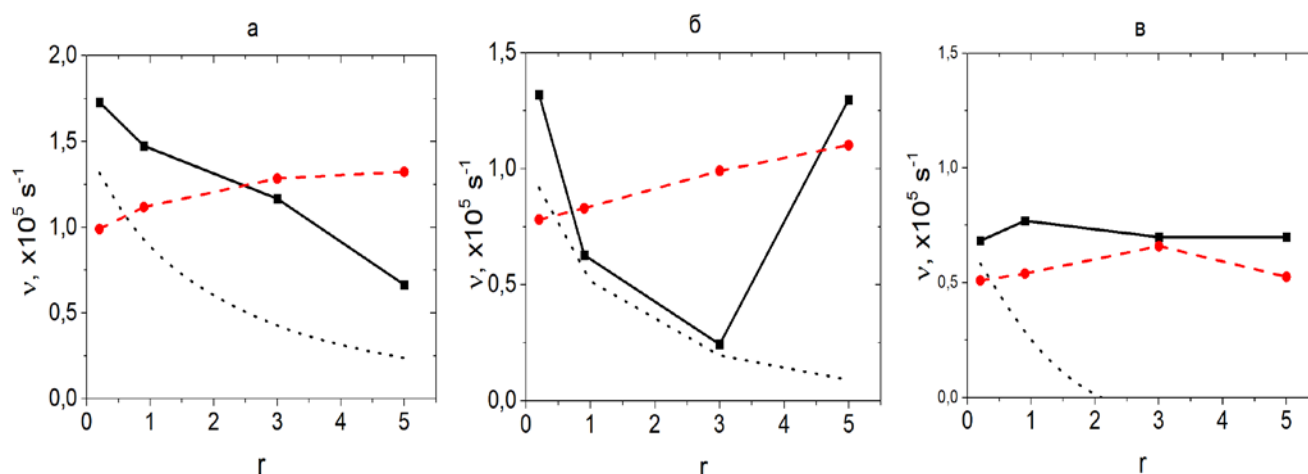


Рис. 2 – Константа затухания  $v_i$ ; обозначения такие же, как на рисунке 1

На рисунке 2 представлены зависимости поперечной константы затухания для тех же значений энергии, что и на рисунке 1. Видно, что и в поперечном направлении торможение для отрицательных ионов может быть как больше, так и меньше, чем для положительных. Из рисунка видно, что формула (1) не описывает поведение силы трения в поперечном направлении даже качественно. Следует отметить, что в экспериментах поперечное затухание скорости как правило не измеряется, в частности в [6] есть данные только по продольному затуханию.

#### Заключение

В настоящей работе проведено моделирование процесса торможения положительно и отрицательно заряженных ионов в холодном газе замагниченных электронов. Показано, что в зависимости от угла между скоростью иона и направлением магнитного поля трение для положительных ионов может быть как больше, так и меньше, чем для отрицательных. Также отметим, что теоретическая модель [2], [3] в определенной области параметров не совпадает с полученным в расчетах затуханием ни для положительных ни для отрицательных ионов. В этой связи актуально развитие модели для описания ведущихся в настоящее время экспериментов по антиводороду [4].

#### Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00421.

#### Конфликт интересов

Не указан

#### Funding

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-32-00421.

#### Conflict of Interest

None declared

#### Список литературы / References

1. Budker G. I. Experimental studies of electron cooling / Budker G. I., Dikanskij N. S., Pestrikov D. V. et al. // Part. Accel. - 1976. - V. 7. - P. 197-211.
2. Derbenev Y. S. The effect of an accompanying magnetic field on electron cooling / Derbenev Y. S., Skrinsky A. N. // Part. Accel. - 1978. - V. 8. - P. 235-243.
3. Fedotov A. V. Numerical study of the magnetized friction force / Fedotov A. V., Bruhwiler D. L., Sidorin A. O. et al. // Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams. - 2006. - V. 9. - №7. - P. 074401.
4. Amoretti M. High rate production of antihydrogen / Amoretti M. // Physics Letters B. - 2004. - V. 578. - №1-2. P. 23-32.
5. Spitzer L. Physics of Fully Ionized Gases / Spitzer L. - New York: Wiley, 1962.

6. Dikanskii N. S. Influence of the sign of the charge of an ion on the friction force in electron cooling / Dikanskii N. S., Kot N. K., Kudelainen V. I. et al. // JETP. – 1988. – V. 67. – №1. – P. 35
7. Ordonez C. A. Possibilities for achieving antihydrogen recombination and trapping using a nested Penning trap and a magnetic well / Ordonez C. A., Dolliver D. D., Chang Y. // Physics of Plasmas. – 2002. – V. 9. – №8. – P. 3289-3302.
8. Bobrov A. A. Proton energy relaxation in an electron gas in a uniform magnetic field. Plasma Physics Reports / Bobrov A. A., Bronin S. Y., Zelener B. B. et al. – 2017. – V. 43. – №5. – P. 547-554.
9. Birdsall C. K. Plasma Physics via Computer Simulation / Birdsall C. K., Langdon A. B. –New York : McGraw-Hill, 1985.
10. Bobrov A. A. Energy relaxation rate in antiproton–positron nonneutral plasma / Bobrov A. A., Bronin S. Y., Zelener B. B. et al. // Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – V. 946. – P. 012129

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.002>

## РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С СЕРВЕРОМ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРХИТЕКТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID И CUSTOM VIEW

Обзор

Ахмаров И.О. \*

ORCID: 0000-0001-7413-9919,  
ПАО Сбербанк, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (akhmarov9774[at]gmail.com)

## Аннотация

В текущей статье описываются правила и методы применения инструментов разработки в процессе создания мобильного приложения на операционной системе Android. Приложение разработано по принципу «чистой архитектуры» с использованием архитектурных компонентов (Android Architecture Components) – группы библиотек, представленных Google. Такой подход помогает создавать надежные, тестируемые и легкие в поддержке приложения, начиная от управления жизненными циклами элементов приложения до управления внутренними данными. Данное приложение предназначено для перевода текстов и хранения сохраненных переводов в локальной базе данных устройства. Для перевода введенного текста приложение должно уметь выполнять запросы к серверу, используя API (Application Programming Interface) «Яндекс.Переводчик», с возможностью выбора языков перевода.

**Ключевые слова:** мобильное приложение, Android, чистая архитектура, Android Architecture Components, Яндекс.Переводчик.

## DEVELOPING MOBILE APPLICATION INTERACTING WITH SERVER WITH THE USE OF ARCHITECTURAL COMPONENTS OF ANDROID AND CUSTOM VIEW OPERATING SYSTEM

Review

Akhmarov I.O. \*

ORCID: 0000-0001-7413-9919,  
Sberbank PJSC, Moscow, Russia

\* Corresponding author (akhmarov9774[at]gmail.com)

## Abstract

This paper describes the rules and methods for the usage of tools in the mobile application development process on the Android operating system. The application was developed on the *clean architecture* principle using architectural components (Android Architecture Components) – a group of libraries provided by Google. This approach helps to create robust, testable, and easy-to-maintain applications, ranging from managing the life cycles of application elements to managing internal data. This application is intended to translate texts and store saved translations in the local database of a device. To translate the entered text, the application must be able to fulfill the requests to the server using the Yandex.Translator API (Application Programming Interface), with the ability to select the translation languages.

**Keywords:** mobile application, Android, clean architecture, Android Architecture Components, Yandex.Translator.

## Введение

В настоящее время мобильные устройства играют невероятно большую роль в жизни людей: они не ограничиваются функциями приема и совершения вызовов и стали больше чем просто инструментами связи. С их помощью люди слушают музыку, смотрят видео, делают снимки. Телефон стал неотъемлемой частью жизни людей, и именно с этим связано увеличение темпов развития в разработке программ под мобильные платформы. В связи с этим также увеличивается и количество инструментов разработки, которые облегчают разработку и поддержку программ, однако не всегда применяются так, как было задумано. В данной статье были описаны методы применения наиболее востребованных инструментов в создании мобильных приложений. Самые популярные мобильные операционные системы это Android и iOS. Так как Android занимает большую долю мирового рынка – 74,13% против 24,79% у iOS [1], то в статье будет рассматриваться разработка приложения под эту ОС.

В связи с увеличением количества инструментов для разработки, становится трудно уследить за всеми ними и тем, как правильно их применять в реальных проектах

В качестве разрабатываемого приложения будет выступать Language Cards, идея которого заключается в переводе текста и сохранении ранее переведенных слов в локальную базу данных устройства. Для перевода текста приложение использует API «Яндекс.Переводчик».

## Архитектурные компоненты

Архитектурные компоненты Android – группа библиотек, помогающие писать тестируемые и поддерживаемые приложения, начиная от классов управления данными UI компонентов до обработки данных. В архитектурные компоненты входят:

- Lifecycles

Жизненный цикл – состояния компонента (активности или фрагмента) от момента его создания до его уничтожения. Lifecycles позволяет создавать объекты, знающие о жизненном цикле компоненты-владельца. Это знание позволяет им управлять их собственным жизненным циклом, снижая вероятность утечек или сбоев. Lifecycles позволяет избежать лишнего кода и является основой для других архитектурных компонентов [2].

- LiveData

Сущность-наблюдатель, обладающая знаниями про жизненный цикл, которая также может хранить данные и уведомляет слушателей о изменениях. Визуальный интерфейс подписывается на эти изменения и предоставляет LiveData ссылку на свой жизненный цикл. Так как LiveData знает про жизненный цикл, она уведомляет подписчиков пока он запускается или возобновляется, но перестает если жизненный цикл был уничтожен. LiveData простой способ для создания реактивного UI, который безопасней и более производителен [3].

- ViewModel

Библиотека для поддержки шаблона проектирования архитектуры MVVM (Model-View-ViewModel), суть которого в разделении отображения данных от бизнес-логики путем вынесения её в отдельный класс для более четкого разграничения. ViewModel сохраняется до тех пор, пока связанная с ним активность или фрагмент не была уничтожена – это позволяет данным отображения переживать события как, например, пересоздание фрагмента из-за поворота экрана. ViewModel помогает устранить не только проблемы связанные с жизненным циклом приложения, но и создавать более поддерживаемое и простое в тестировании приложение [4].

- Room

Библиотека является высокоуровневой оболочкой над SQLite, что позволяет писать меньше шаблонного кода. Room довольно простой мощный и надежный инструмент для управления локальным хранилищем [5].

### Разработка приложения

#### Применение архитектурных компонентов

##### Lifecycles

Приложение содержит 4 экрана, каждый из которых представлен фрагментом, наследующимся от абстрактного класса ApplicationFragment.

Данный класс описывает общую логику работы фрагментов, расширяет класс Fragment и реализует интерфейс LifecycleOwner. Реализация данного интерфейса помечает класс, как класс, обладающий жизненным циклом и содержит всего один метод getLifecycle(), который возвращает жизненный цикл реализующего класса типа Lifecycle. Метод уже определен в базовых классах ComponentActivity и Fragment и не должен быть переопределен в собственных активности или фрагментах, для этого планируется сделать его final в будущем.

Другой интерфейс – LifecycleObserver помечает реализующие его классы, как классы, наблюдающие за жизненным циклом. Этот интерфейс не содержит никаких методов, но полагается на методы аннотированные @OnLifecycleEvent.

Для применения архитектурного компонента Lifecycles необходимо зарегистрировать реализацию подписчика в классе-владельце жизненного цикла с помощью метода addObserver() у объекта Lifecycle, который можно получить с помощью метода getLifecycle().

В приложении данный архитектурный компонент применяется следующим образом: на экране перевода при старте фрагмента должны быть прочитаны настройки перевода (с какого языка на какой должен быть осуществлен перевод). Для этого во фрагменте в методе onCreateView() после инициализации ViewModel необходимо зарегистрировать ее в подписчиках на жизненный цикл экрана (листинг 1):

##### @Override

```
public View onCreateView(LayoutInflater inflater, ViewGroup container, Bundle savedInstanceState) {
    CreatingCardDataBinding binding = DataBindingUtil.inflate(inflater,
        getLayoutRes(),
        container,
        false);

    readArguments();

    mViewModel = ViewModelProviders.of(this, new ViewModelFactory<>() {
        () -> new CreatingCardViewModel(
            new TranslateInteractor(),
            mCardInteractor,
            new TranslateSettingInteractor(requireActivity()))
    })
        .get(CreatingCardViewModel.class);

    binding.setVariable(com.igor.languecards.BR.viewModel, mViewModel);
    binding.setLifecycleOwner(getViewLifecycleOwner());

    getLifecycle().addObserver(mViewModel); //добавление подписчика

    return binding.getRoot();
}
```

Листинг 1 – Добавление подписчика на изменение жизненного цикла фрагмента

В листинге 2 представлен метод `ViewModel`, который должен быть вызван.

`@OnLifecycleEvent(Lifecycle.Event.ON_START)`

```
public void readTranslateSettings() {
    TranslateSettings translateSettings = mTranslateSettingInteractor.readTranslateSettings();
    mFromLanguageCode = translateSettings.getLanguageCodeFrom();
    mFromLanguage.postValue(translateSettings.getLanguageFrom());

    mToLanguageCode = translateSettings.getLanguageCodeTo();
    mToLanguage.postValue(translateSettings.getLanguageTo());
    mTranslateSettings.postValue(translateSettings);
}
```

Листинг 2 – Метод `ViewModel`, вызываемый при событии `onStart` жизненного цикла фрагмента

Параметр аннотации метода означает что метод будет вызван при срабатывании метода `onStart()` у владельца жизненного цикла. При этом класс подписчик должен реализовывать интерфейс `LifecycleObserver`.

`LiveData & ViewModel`

Эти архитектурные компоненты используются вместе: класс, расширяющий `ViewModel` описывает некоторую логику и результат операций записывает в переменную типа `LiveData`, являющейся оберткой над нужным типом. Результат записывается с помощью методов `postValue()` и `setValue()`. Отличия этих методов в том, что `setValue()` устанавливает значение и должен быть вызван из главного потока, в то время как `postValue()` передает главному потоку задачу на установку значения. Код в активности или фрагменте подписывается на изменения значения внутри `LiveData`, как результат `ViewModel` неявно управляет `View`.

В приложении этот механизм подписок присутствует на каждом экране. Во `ViewModel` создаются `LiveData` по типу нужного параметра. В листинге 3 приведен пример событий обновлений настроек перевода и статуса операции, обернутых в `LiveData`.

```
private MutableLiveData<TranslateSettings> mTranslateSettings = new MutableLiveData<>();
private MutableLiveData<Integer> mOperationStatusEvent = new MutableLiveData<>();
```

Листинг 3 – Объявления событий `ViewModel` изменения настроек перевода и статуса операции

Фрагмент получает события в `LiveData` и подписывается на них. К примеру, в листинге 4 при изменении настроек перевода будет вызван метод, обновляющий отображение этих настроек с передачей данных, лежащих внутри `LiveData` (листинг 5).

`@Override`

```
protected void setUpViews() {
    mViewModel.getTranslateSettings().observe(this, this::showSettings);
    mViewModel.getOperationStatusEvent().observe(this, this::showMessage);

    mFromLanguageTextView.setOnClickListener(v -> openLanguagesFragment());
    mToLanguageTextView.setOnClickListener(v -> openLanguagesFragment());
    mTranslateArrow.setOnClickListener(v -> openLanguagesFragment());
}
```

Листинг 4 – Подписка на события `ViewModel` во фрагменте

```
private void showSettings(TranslateSettings settings) {
    mFromLanguageTextView.setText(settings.getLanguageFrom());
    mToLanguageTextView.setText(settings.getLanguageTo());
}
```

Листинг 5 – Применение изменений настроек перевода

Инициализация класса `ViewModel` осуществляется с помощью метода `of()` класса `ViewModelProviders` (листинг 6).

```
mViewModel = ViewModelProviders.of(this, new ViewModelFactory<>(
    () -> new CreatingCardViewModel(
        new TranslateInteractor(),
        mCardInteractor,
        new TranslateSettingInteractor(requireActivity()))
));
```

`.get(CreatingCardViewModel.class);`

Листинг 6 – Инициализация `ViewModel` фрагмента

Данный метод возвращает экземпляр `ViewModelProvider`, класса, предоставляющего `ViewModel` для требуемой области видимости (масштаба фрагмента). Первый параметр метода `of()` – фрагмент, в чьей области видимости будет удержана `ViewModel`, второй параметр – фабрика для создания `ViewModel`. В качестве такой фабрики выступает класс `ViewModelFactory`, позволяющий получать экземпляры класса с помощью лямбда выражений (листинг 7).

```
public class ViewModelFactory<VM extends ViewModel> implements ViewModelProvider.Factory {
    private Supplier<VM> mViewModelCreator;

    public ViewModelFactory(@NonNull Supplier<VM> viewModelCreator) {
        mViewModelCreator = viewModelCreator;
    }
}
```

```

@NonNull
@Override
public <T extends ViewModel> T create(@NonNull Class<T> modelClass) {
    VM viewModel = mViewModelCreator.get();

    //noinspection unchecked
    return (T) viewModel;
}
}

```

#### Листинг 7 – Класс ViewModelFactory

Класс реализует интерфейс Factory и содержит единственное поле типа Supplier с типизированным параметром, наследующимся от класса ViewModel. Интерфейс Supplier является простой оберткой для хранения данных, который содержит только один метод get(), который возвращает хранимый экземпляр. Метод create() является частью интерфейса Factory и создает экземпляр переданного класса.

#### Room

Для того чтобы использовать этот компонент в своем проекте нужно написать абстрактный класс базы данных, унаследовав его от RoomDatabase (листинг 8). Класс помечается аннотацией @Database В параметрах аннотации прописывается сущности, которые будут храниться в базе данных, и версия базы данных. Параметр exportSchema означает, что историю версий базы данных сохранять не нужно. Для получения экземпляра базы данных в метод databaseBuilder() необходимо передать контекст, класс базы данных и название файла базы данных, далее нужно вызвать метод build().

```

@Database(entities = {Card.class}, version = 1, exportSchema = false)
public abstract class AppDatabase extends RoomDatabase {

    public static AppDatabase getInstance(@NonNull Context context) {
        return Room
            .databaseBuilder(context, AppDatabase.class, "AppDatabase")
            .build();
    }

    public abstract CardInteractor getCardInteractor();
}

```

#### Листинг 8 – Класс базы данных приложения

Для сформирования методов доступа к базе данных, нужно определить DAO (Data Access Object) интерфейс. В текущем проекте этот интерфейс определяется классом CardInteractor (листинг 9).

```

@Dao
interface CardInteractor {

    @Insert(onConflict = OnConflictStrategy.REPLACE)
    fun addCard(card: Card)

    @Delete
    fun deleteCard(card: Card)

    @Query(value = "DELETE FROM Card WHERE mId == :cardId")
    fun deleteCardById(cardId: Long)

    @Query(value = "SELECT * FROM Card")
    fun getAllCards(): Observable<MutableList<Card>>

    @Query(value = "SELECT * FROM Card WHERE mTheme == :theme")
    fun getCardsByTheme(theme: String): Observable<MutableList<Card>>

    @Query(value = "SELECT * FROM Card WHERE mId == :id")
    fun getCardById(id: Long): Observable<Card>
}

```

#### Листинг 9 – DAO сущность для взаимодействия с базой данных

Интерфейс помечается аннотацией @Dao и содержит методы для добавления перевода в базу данных, получению и удалению карточки из базы данных и 2 метода для получения списка карточек: получить все карточки и получить карточки, соответствующие данной теме. Над каждым методом присутствует аннотации библиотеки Room:

- @Insert

Аннотация помечает метод, который добавляет элемент в базу данных. В параметрах аннотации может быть указана стратегия обработки конфликтов. В данном коде, в случае существования добавляемого элемента в базе данных, старый элемент будет замещен новым.

- @Delete

Аннотация ставится над методом, который добавляет элемент в базу данных.

- @Query

Аннотация означает, что в случае вызова текущего метода будет выполнен запрос к базе данных. Тело запроса в формате SQLite указывается в параметрах аннотации.

Возвращаемое значение всех методов получения карточек с переводом обернуто в Observable. Это позволяет использовать Room совместно с RxJava [6], что позволяет оперировать запросами к базе данных асинхронно.

### Взаимодействие с сервером

Перевод текста в приложении разбит на несколько классов в соответствии с идеей чистой архитектурой [7], запросы к серверу осуществляются с помощью библиотеки Retrofit. Всего к серверу будут отправляться 2 запроса: перевод текста и получение списка языков, на которые возможен перевод. Описание этих запросов представлено в интерфейсе TranslatorApi (листинг 10).

```
public interface TranslatorApi {
```

```
    @POST("tr.json/translate")
```

```
    Observable<Translate> getTranslate(@Query("key") String key,
                                     @Query("text") String text,
                                     @Query("lang") String lang);
```

```
    @POST("tr.json/getLangs")
```

```
    Observable<TranslateLanguages> getLangs(@Query("key") String key,
                                           @Query("ui") String languageCode);
```

```
}
```

Листинг 10 – Интерфейс TranslatorApi

Оба метода содержат аннотацию @POST, который обозначает метод как метод, делающий запрос типа POST [8]. В параметрах аннотации передается адрес запроса. Каждый из методов принимает аргументы для формирования запроса, так, например, первый метод принимает на вход ключ (уникальный идентификатор для каждого клиента), переводимый текст и направление перевода (с какого языка на какой будет переведен текст). Подробнее о структуре запросов к Яндекс API, можно ознакомиться в документации Яндекс Переводчика для разработчиков [9].

Класс NetworkService построен по паттерну «Одиночка» (листинг 11) и формирует общую структуру запроса с помощью Retrofit: подставляет в запрос базовый адрес, фабрику конвертации (для сериализации и десериализации) объектов и фабрику для оборачивания полученного от сервера результата в тип RxJava (для работы с сервером асинхронно), а также класс содержит поле уникального ключа для работы с Яндекс API.

```
public class NetworkService {
```

```
    public static final String KEY = "ЗДЕСЬ ДОЛЖЕН БЫТЬ УНИКАЛЬНЫЙ КЛЮЧ";
```

```
    private static NetworkService mInstance;
```

```
    private static final String BASE_URL = "https://translate.yandex.net/api/v1.5/";
```

```
    private Retrofit mRetrofit;
```

```
    private NetworkService() {
```

```
        mRetrofit = new Retrofit.Builder()
```

```
            .baseUrl(BASE_URL)
```

```
            .addConverterFactory(GsonConverterFactory.create())
```

```
            .addCallAdapterFactory(RxJava2CallAdapterFactory.createWithScheduler(Schedulers.io()))
```

```
            .build();
```

```
    }
```

```
    public static NetworkService getInstance() {
```

```
        if (mInstance == null) {
```

```
            mInstance = new NetworkService();
```

```
        }
```

```
        return mInstance;
```

```
    }
```

```
    public TranslatorApi getJSONApi() {
```

```
        return mRetrofit.create(TranslatorApi.class);
```

```
    }
```

```
}
```

Листинг 11 – Класс NetworkService

Метод getJSONApi() возвращает с помощью Retrofit реализацию интерфейса TranslatorApi. Вызов данного метода происходит из репозитория (листинг 12).

```
public class TranslateRepositoryImpl implements TranslateRepository {
```

```
    private TranslatorApi mTranslatorApi = NetworkService.getInstance().getJSONApi();
```

```
    private TranslateLanguages mLanguages;
```

```

@Override
public Observable<Translate> getTranslate(@NonNull TranslatorRequest request) {
    return mTranslatorApi
        .getTranslate(NetworkService.KEY,
            request.getText(),
            request.getTranslationDirection());
}

@Override
public Observable<TranslateLanguages> getLanguages() {
    if (mLanguages == null) {
        return mTranslatorApi
            .getLangs(NetworkService.KEY, "ru")
            .map(langs -> mLanguages = langs);
    } else {
        return Observable.just(mLanguages);
    }
}
}

```

Листинг 12 – Репозиторий для запросов к серверу

Класс TranslateRepositoryImpl реализует интерфейс TranslateRepository и является репозиторием для запросов к серверу. Этот класс определяет реализацию 2-методов на получение перевода и списка языков, на которые доступен перевод. Данные методы вызываются в соответствующих классах-интеракторах и возвращают результаты запросов, обернутые в тип Observable для интеграции с библиотекой RxJava.

```

public class TranslateInteractor {

    private TranslateRepository mRepository = new TranslateRepositoryImpl();

    public Observable<Translate> translate(@NonNull String text, @NonNull String from, @NonNull String to) {
        if (!text.isEmpty() && !to.isEmpty()) {
            TranslatorRequest request = TranslatorRequest.createRequest(text, from, to);
            return mRepository.getTranslate(request);
        } else {
            return Observable.error(new Throwable("Text or target language must not be empty"));
        }
    }
}

```

Листинг 13 – Интерактор для запроса перевода текста

Класс TranslateInteractor (листинг 13) – интерактор для перевода текста, хранит в себе ссылку на репозиторий и содержит всего один метод. Метод translate() принимает 3 параметра: переводимый текст, начальный язык (язык с которого осуществляется перевод) и конечный язык (язык на который осуществляется перевод). На основе этих данных формируется запрос: преобразование информации в формат, требуемый сервером, однако если языки перевода содержат пустую строку, то будет выброшен объект Throwable, сигнализирующий об ошибке.

Данный метод вызывается не при каждом изменении значения текстового поля ввода текста для перевода, так как в случае, если пользователь печатает длинное слово, то запрос будет ходить каждый раз, при вводе новой буквы. Это значит, что ресурсы будут тратиться на операции, результат которых не важен. Для предотвращения этой проблемы было введено новое поле типа BehaviorSubject во ViewModel экрана перевода с типовым параметром String (листинг 14).

```
private BehaviorSubject<String> mUserInputSubject = BehaviorSubject.create();
```

Листинг 14 – Объявление поля для подписки на изменение переводимого текста

Далее необходимо задать цепочку действий для данного объекта при получении значения для перевода текста (листинг 15). С помощью первого параметра метода debounce() задаем время между срабатываниями запроса на перевод текста, а вторым – единицу времени исчисления. Метод distinctUntilChanged() пропускает только те элементы, которые отличаются от своих предшественников (отсеивает идентичные строки в поле ввода текста для перевода), что тоже позволяет экономить ресурсы, не формируя ненужные запросы.

```

mDisposable.add(mUserInputSubject
    .debounce(TRANSLATE_DEBOUNCE_TIME, TimeUnit.MILLISECONDS)
    .distinctUntilChanged()
    .subscribeOn(Schedulers.io())
    .observeOn(AndroidSchedulers.mainThread())
    .subscribe(this::translate)
);

```

Листинг 15 – Цепочка действий, выполняемых перед формированием запроса к серверу

При изменении текстового поля ввода текста для перевода, в случае если новая строка пуста, то текстовому полю, содержащему переведенный текст, присваивается значение пустой строки, иначе – метод onNext() у поля

BehaviorSubject, который провоцирует перевод текста (листинг 16).

```
public void onTranslatedWordChanged(@NonNull CharSequence text) {
    if (text.toString().isEmpty()) {
        mTranslate.postValue(EMPTY_STRING);
    } else {
        mUserInputSubject.onNext(text.toString());
    }
}
```

Листинг 16 – Метод, вызываемый при изменении текста для перевода

### Custom View

Экран запоминания слов содержит уникальный элемент отображения – LanguageCardView (рисунок 1). Данный элемент содержит в себе распознавание и обработку применяемых жестов, анимацию и отображение. Текстовые поля и индикатор прогресса не являются частью элемента – они отображены поверх него. Изначально планировалось сделать этот элемент полностью уникальным (содержащим отображения всех дочерних элементов, за исключением индикатора прогресса) и наследовать класс представления от CardView, однако позже выявились проблемы с анимацией для элемента CardView – при повороте элемента на 90 градусов начиналась утечка памяти, связанная с нативными ресурсами (ресурсами операционной системы). При решении этой проблемы все уникальные дочерние элементы были заменены на аналогичные элементы, предоставляемые системой Андроид, и был изменен класс родитель. Для соблюдения связи «элемент-дочерний элемент» между представлениями экрана, в качестве класса родителя LanguageCardView должен выступать класс типа ViewGroup [10], и в роли такого класса был выбран ConstraintLayout из-за гибкости размещения дочерних элементов внутри родительского.



Рис. 1 – Название рисунка

### Распознавание жестов и анимация

Обработка жестов работает за счет класса GestureDetector, реализующего интерфейс OnGestureListener и использующего класс GestureDetectorCompat. Для этого в классе LanguageCardView был переопределен метод onTouchEvent() (листинг 17), который запускает одноименный метод в классе GestureDetector (листинг 18), в котором происходит вызов одноименного метода класса GestureDetectorCompat.

```
override fun onTouchEvent(event: MotionEvent): Boolean {
    performClick()
    return if (gestureListener.onTouchEvent(event)) {
        true
    } else {
        super.onTouchEvent(event)
    }
}
```

Листинг 17 – Метод, вызываемый при касании LanguageCardView

```
fun onTouchEvent(event: MotionEvent): Boolean {
    return detector.onTouchEvent(event)
}
```

Листинг 18 – Метод GestureDetector, вызываемый при касании

При определении жеста экземпляр класса GestureDetectorCompat выполняет вызов метода, который должен

обработать данный жест.

```

override fun onShowPress(e: MotionEvent?) {
    Log.d("CardView", "onShowPress")
}

override fun onSingleTapUp(e: MotionEvent?): Boolean {
    Log.d("CardView", "onSingleTapUp")

    return false
}

override fun onDown(e: MotionEvent?): Boolean {
    Log.d("CardView", "onDown")

    return true
}

override fun onFling(e1: MotionEvent?, e2: MotionEvent?, velocityX: Float, velocityY: Float): Boolean {
    Log.d("CardView", "onFling")

    return false
}

override fun onLongPress(e: MotionEvent?) {
    Log.d("CardView", "onLongPress")
}

override fun onScroll(e1: MotionEvent?, e2: MotionEvent?, distanceX: Float, distanceY: Float): Boolean {
    return cardView.onScroll(e1, e2)
}

```

Листинг 19 – Переопределение методов интерфейса OnGestureListener в классе GestureListener

Как видно из листинга 19, класс «глушит» все методы, за исключением методов onDown() и onScroll(). Метод onDown() сигнализирует о событии когда произошел жест «вниз» (пользователь коснулся элемента на экране) и необходим для возможности обработки других жестов. Метод onScroll() вызывается в том случае, если жест был распознан как «смахивание» (пользователь коснулся элемента и провел по нему). При распознавании этого типа жеста будет вызван одноименный метод в классе LanguageCardView (листинг 20).

```

fun onScroll(firstMotionEvent: MotionEvent?, secondMotionEvent: MotionEvent?): Boolean {
    Log.d("CardView", "onScroll")

    if (animationIsRunning) {
        return false
    }

    val direction = gestureListener.getSwipeDirection(firstMotionEvent, secondMotionEvent)

    Log.d("Direction", "Direction: $direction")

    return when (direction) {
        SwipeDirection.LEFT -> {
            animate().setDuration(FLIPPING_ANIMATION_DURATION)
                .rotationYBy(SWIPE_TO_LEFT_DEGREE)
                .start()
            flipAnimation = true
            flipRTL = true
            true
        }
        SwipeDirection.RIGHT -> {
            animate().setDuration(FLIPPING_ANIMATION_DURATION)
                .rotationYBy(SWIPE_TO_RIGHT_DEGREE)
                .start()
            flipAnimation = true
            flipLTR = true
            true
        }
        SwipeDirection.UP -> {
            animate()

```

```

        .yBy(-requiredBottomPosition)
        .setDuration(SCROLLING_ANIMATION_DURATION)
        .start()
        scrollAnimation = true
        scrollUp = true
        true
    }
    SwipeDirection.DOWN -> {
        animate()
        .yBy(requiredBottomPosition)
        .setDuration(SCROLLING_ANIMATION_DURATION)
        .start()
        scrollAnimation = true
        scrollDown = true
        true
    }
    else -> false
}
}

```

Листинг 20 – Метод LanguageCardView, вызываемый при смахивании

Данный метод проверяет запущена ли в данный момент анимация, и если анимация запущена, то метод завершает работу, возвращая значение false, иначе вызывает метод getSwipeDirection() класса GestureDetector, и в зависимости от результата стартует один из видов анимации. Проверка на работающую анимацию нужна для того, чтобы анимации не накладывались друг на друга и к объекту не были применены одновременно несколько видов анимаций. В данном методе, к элементу LanguageCardView могут быть применены 2 вида анимаций:

- анимация поворота карточки при жесте смахивания вбок (карточка переворачивается в сторону совершения жеста);
- анимация смещения карточки вверх или вниз при вертикальном жесте смахивания (карточка уезжает вверх или вниз в зависимости от стороны совершения жеста).

При каждом старте анимации включаются флаги, сигнализирующие о типе анимации и ее направлении. Карточки при смахивании вбок должны поворачиваться на 180 градусов, однако в таком случае отображение текстов будет полностью зеркальными. Для того чтобы избежать этого было решено создать видимость поворота: анимация поворота на 90 градусов, применение поворота на противоположный угол без анимации и снова анимация поворота на 90 градусов. Для достижения этого эффекта класс LanguageCardView реализует интерфейс AnimatorListener, в котором есть метод onAnimationEnd(), вызывающийся при окончании анимации (листинг 21).

```

override fun onAnimationEnd(animation: Animator?) {
    animationIsRunning = false
    if (scrollAnimation) {
        alpha = Of
        y = requiredTopPosition
        if (scrollUp) {
            scrollUp = false
            gestureManagerListener.onScrollUp()
        } else if (scrollDown) {
            scrollDown = false
            gestureManagerListener.onScrollDown()
        }
        scrollAnimation = false
        animate().setDuration(APPEARANCE_ANIMATION_DURATION)
        .alpha(1f)
        .start()
    } else if (flipAnimation) {
        if (flipLTR) {
            rotationY = SWIPE_TO_LEFT_DEGREE
            flipLTR = false
            animate().setDuration(FLIPPING_ANIMATION_DURATION)
            .rotationYBy(SWIPE_TO_RIGHT_DEGREE)
            .start()
        } else if (flipRTL) {
            rotationY = SWIPE_TO_RIGHT_DEGREE
            flipRTL = false
            animate().setDuration(FLIPPING_ANIMATION_DURATION)
            .rotationYBy(SWIPE_TO_LEFT_DEGREE)
            .start()
        }
    }
    flipAnimation = false
}

```

```

    flipped = !flipped
    gestureManagerListener.onFlip(flipped)
}
}

```

Листинг 21– Метод, вызываемый при окончании анимации LanguageCardView

Данный метод распознает завершившуюся анимацию и направление смахивания по флагам и дополняет ее. В случае анимации прокрутки элемента вверх или вниз, карточке будут заданы полная прозрачность и начальное положение, после чего будет применена анимация появления элемента на экране. В случае же поворота – будет задан противоположный угол поворота, и анимация поворота будет возобновлена.

Так же стоит отметить что в этом методе будет вызван один из методов: onScrollUp(), onScrollDown() или onFlip() в зависимости от типа анимации и направления смахивания. Данные методы реализованы во ViewModel экрана запоминания слов и уведомляют о том, что к элементу было применено некое действие. Это нужно для того, чтоб изменить данные, отображаемые на дочерних элементах LanguageCardView.

Отображение элемента может быть настроено с помощью двух параметров – радиуса округления угла и цвета заливки (листинг 22). Параметры, позволяющие это сделать, объявлены в атрибутах проекта и применяются к LanguageCardView в разметке экрана.

```

<declare-styleable name="LanguageCardView">
  <attr name="corner_radius" format="dimension" />
  <attr name="card_tint_color" format="color" />
</declare-styleable>

```

Листинг 22 – Атрибуты LanguageCardView, которые можно задать в разметке экрана

Переданные параметры можно получить при инициализации класса LanguageCardView с помощью экземпляра класса TypedArray (листинг 23). После инициализации полей (радиуса и цвета заливки) необходимо вызвать метод recycle() для переработки класса. После вызова данного метода обращаться к классу повторно запрещается.

```

if (attrs != null) {
    val typedArray = context.obtainStyledAttributes(attrs, R.styleable.LanguageCardView)
    cornerRadius = typedArray.getDimension(
        R.styleable.LanguageCardView_corner_radius,
        context.dpToPx(cornerRadius.toInt())
    )

    cardTintColor = typedArray.getColor(
        R.styleable.LanguageCardView_card_tint_color,
        NO_COLOR
    )

    typedArray.recycle()
}

```

Листинг 23 – Получение параметров отображения LanguageCardView, заданных в разметке экрана

Значение цвета заливки применяется в методе setupPaint() (листинг 24), который будет вызван только в том случае, если цвет заливки был передан.

```

private fun setupPaint() {
    background = context.getDrawable(R.drawable.empty_view)

    with(maskPaint) {
        color = cardTintColor
        style = Paint.Style.FILL
    }
}

```

Листинг 24– Метод настройки кисти для заливки отображения LanguageCardView

Внутри метода задается фон представления (родительский класс ConstraintLayout не содержит фона). В качестве фона используется пустой векторный ресурс (листинг 25), затем к кисти для рисования элементов применяются настройки: переданный в разметке цвет и стиля рисования, который соответствует полному заполнению объекта.

```

<shape xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:shape="rectangle" />

```

Листинг 25 – Ресурс, применяемый к фону LanguageCardView

Полученное значение радиуса используется в методе onDraw(). На канвасе (холсте отображения) с помощью метода drawRoundRect() рисуется прямоугольник, содержащий закругления углов с заданным радиусом (листинг 26) и кисть, содержащая цвет заливки и стиль отрисовки.

```

override fun onDraw(canvas: Canvas) {
    canvas.drawRoundRect(viewRect, cornerRadius, cornerRadius, maskPaint)
}

```

Листинг 26 – Метод onDraw() класса LanguageCardView

### Основные результаты

В результате было разработано работающее Android приложение, способное отправлять и получать запросы от сервера и сохранять информацию в локальной базе данных мобильного устройства. Приложение состоит из 4 экранов:

- Экран перевода текста (рисунок 2);
- Экран просмотра сохраненных карточек (слов) (рисунок 3);
- Экран запоминания сохраненных карточек (слов) (рисунок 4);
- Экран выбора языков для перевода текста (рисунок 5).

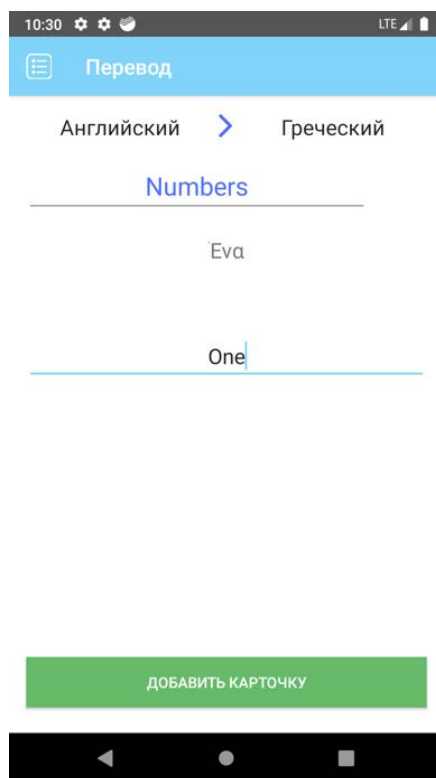


Рис. 2 – Экран перевода текста

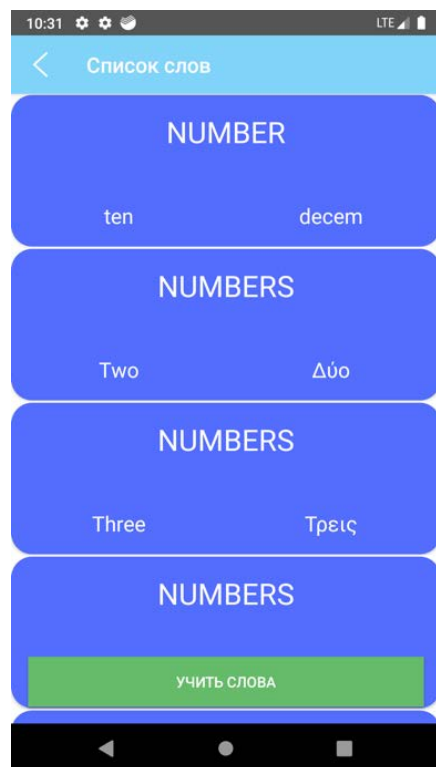


Рис. 3 – Экран вывода списка сохраненных карточек перевода

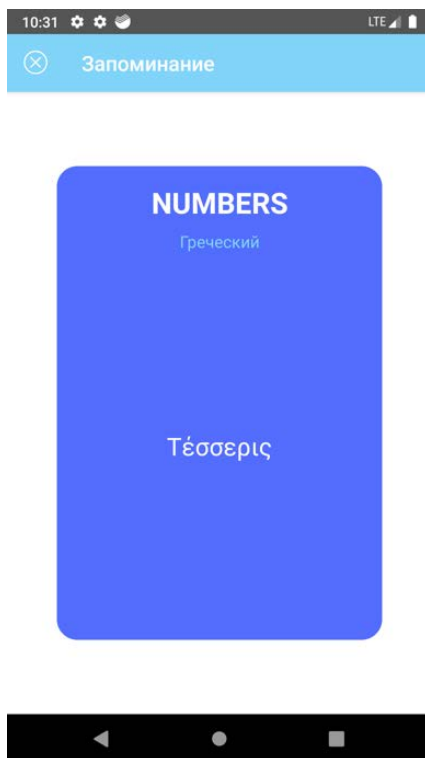


Рис. 4 – Экран запоминания сохраненных переводов

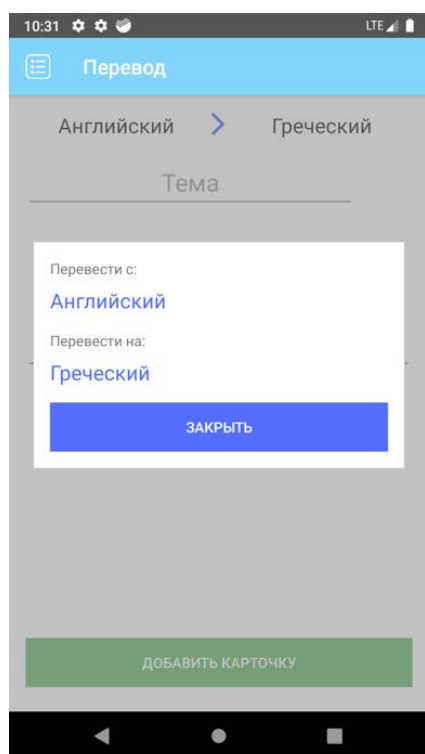


Рис. 5 – Экран выбора языков перевода

### Заключение

В данной статье были рассмотрены архитектурные компоненты и методы их применения для решения задач в проекте. Вместе тем было описано использование API Яндекс.Переводчик в мобильном приложении с использованием библиотек Retrofit и RxJava. Также в статье было уделено внимание созданию уникального представления с обработкой применяемых к нему жестов и запуску анимаций с участием данного представления.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Statcounter. Mobile Operating System Market Share Worldwide [Electronic resource]. Jan 2019 - Jan 2020. – URL: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide> (accessed:04.02.2020)
2. Android Developers: Handling Lifecycles with Lifecycle-Aware Components [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/lifecycle> (accessed:04.02.2020)
3. Android Developers: LiveData Overview [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/livedata> (accessed:04.02.2020)
4. Android Developers: ViewModel Overview [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/viewmodel> (accessed:04.02.2020)
5. Android Developers: Room Persistence Library [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/room> (accessed:04.02.2020)
6. Бен Кристенсен, Томаш Нуркевич Реактивное программирование с применением RxJava [Текст] : [пер. с англ.] / ДМК. Пресс, 2017, гл. 8, стр. 135-148.
7. Роберт Мартин Чистая Архитектура: Чистая архитектура [Текст], 1-ое издание, Нью Йорк: Pearson Education, 2018, гл. 22, стр. 204-205.
8. Square Open Source: Retrofit. [Electronic resource] – URL: <https://square.github.io/retrofit/> (accessed:04.02.2020)
9. Яндекс API Переводчика. [Электронный ресурс] – URL: <https://yandex.ru/dev/translate/> (дата обращения:04.02.2020)
10. Android Developers: Custom View Components. [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/guide/topics/ui/custom-components> (accessed:04.02.2020)

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

1. Statcounter. Mobile Operating System Market Share Worldwide [Electronic resource]. Jan 2019 - Jan 2020. – URL: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide> (accessed:04.02.2020)
2. Android Developers: Handling Lifecycles with Lifecycle-Aware Components [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/lifecycle> (accessed:04.02.2020)
3. Android Developers: LiveData Overview [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/livedata> (accessed:04.02.2020)
4. Android Developers: ViewModel Overview [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/viewmodel> (accessed:04.02.2020)
5. Android Developers: Room Persistence Library [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/room> (accessed:04.02.2020)
6. Ben Christensen, Tomas Nurkevich Reaktivnoye programmirovaniye s primeneniyyem RxJava [Reactive programming using RxJava] [Text]: [Trans. from English] / DMK. Press, – 2017, – Ch. 8, – P. 135-148. [in Russian]
7. Robert Martin Chistaya Arkhitektura: Chistaya arkhitektura [Pure Architecture: Pure Architecture] [Text], 1<sup>st</sup> Edition, New York: Pearson Education, – 2018, – Ch. 22, – P. 204-205. [in Russian]
8. Square Open Source: Retrofit. [Electronic resource] – URL: <https://square.github.io/retrofit/> (accessed:04.02.2020)
9. Yandex Translator API. [Electronic resource] – URL: <https://yandex.ru/dev/translate/> (accessed:04.02.2020) [in Russian]
10. Android Developers: Custom View Components. [Electronic resource] – URL: <https://developer.android.com/guide/topics/ui/custom-components> (accessed:04.02.2020)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.003>**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ СЦЕНЫ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ИСКОМЫХ ОБЪЕКТОВ**

Научная статья

**Фокин Д.С.<sup>1</sup>, Карабцев С.Н.<sup>2,\*</sup>, Рейн Т.С.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1468-4955;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-5975-2958;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-4542-0503;<sup>1, 2, 3</sup> Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

\* Корреспондирующий автор (skarab[at]kemsu.ru)

**Аннотация**

В статье формулируется задача предварительной обработки изображений сцены для выделения конкретных объектов – номеров маршрутов транспортных средств на цветowych изображениях, полученных посредством съемки на мобильных устройствах. В качестве доступных скоростных методов предобработки рассматривается метод Оцу – метод получения оптимального приближения полутонового (серого) изображения, а также ряд стандартных методов локальной обработки в скользящем окне. Авторами предлагается два эвристических метода предварительной обработки:

1. метод неадаптивного преобразования цветного изображения в серое (предиктор резкости);
2. метод размытия серого изображения (метод РОС), применяемый для выделения контуров на нем.

На тестовых изображениях демонстрируется эффект применения различных методов для выделения контуров и локализации области размещения номера маршрута транспортного средства на снимках. Сравнение методов также производится и на других данных – цветных фотографиях и трехцветном картографическом изображении.

**Ключевые слова:** выделение контуров, локализация объектов, метод Оцу, программные средства для лиц с ограниченными возможностями здоровья.

**PRELIMINARY PROCESSING OF SCENE IMAGES TO DETECT SEARCHED OBJECTS**

Research article

**Fokin D.S.<sup>1</sup>, Karabtsev S.N.<sup>2,\*</sup>, Reyn T.S.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1468-4955;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-5975-2958;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-4542-0503;<sup>1, 2, 3</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

\* Corresponding author (skarab[at]kemsu.ru)

**Abstract**

The paper formulates the problem of preliminary processing of scene images to detect specific objects – route vehicle number on color images obtained by shooting on mobile devices. Otsu method is considered as the available high-speed preprocessing methods for obtaining the optimal approximation of a grayscale (gray) image, as well as a number of standard local processing methods in a sliding window. The authors propose two heuristic pre-processing methods:

1. Non-adaptive conversion of color images to gray (sharpness predictor);
2. Gray image blurring method (ROS method), used to detect the contours on it.

The test images demonstrate the effect of applying various methods to highlight the contours and localize the area where route vehicle number is located in the images. These methods were compared on other data – color photos and a three-color cartographic images.

**Keywords:** contour extraction, object detection, Otsu method, software for people with disabilities.

**Введение**

Задача идентификации объекта на изображении – одна из основных задач компьютерного зрения. Необходимость поиска объекта и оценки его характеристик существует в различных сферах деятельности человека. Благодаря очевидной коммерциализации найдено большое количество частных решений данной задачи, однако построение универсального решения не представляется возможным.

Идентификация номеров маршрутов общественного транспорта является актуальной проблемой для людей с нарушениями функций зрения (ОВЗ). Ожидая на остановке, такой человек не может быть до конца уверен, что остановившееся транспортное средство определено верно и проследует по заданному маршруту. Данная задача пока не получила надёжного пути решения с применением доступных и недорогих технических или программных средств. Существующие удобные и проверенные мобильные приложения (например, Яндекс.Транспорт или Go2bus) отлично справляются с отслеживанием движения транспорта в режиме on-line, но не приспособлены для слепых или слабовидящих людей. Проблема также усугубляется ситуациями одновременного прибытия двух и более транспортных средств на остановочный пункт, т.к. их отображение на карте в приложении может не соответствовать действительности. Однако развитие и применение информационных технологий, мобильных устройств способно сделать более комфортной жизнь для людей с проблемами зрения [1], [2].

**Описание задачи и принципы исследования**

Постановка задачи предполагает, что слабовидящий человек находится на остановочном пункте в городе и ему необходимо определить номер приближающегося маршрутного транспортного средства. Из подручных средств у него

имеется мобильное устройство с камерой. В данной работе предлагается следующий подход к решению. Человек направляет смартфон с фотокамерой на фронтальную часть проезжающего общественного транспорта, при этом на смартфоне запущено специальное приложение. Приложение распознает номер автотранспорта и с помощью синтезатора голоса озвучивает его. В настоящее время задачи синтеза голоса достаточно хорошо исследованы и нашли применение во множестве приложений, как, например, в работе [3]. В противоположность этому, задачи компьютерного зрения представляют большую сложность, а их решение существенно ограничивается вычислительными возможностями мобильных устройств, временными рамками, а также перегруженной информативностью (вместе с изображением номера маршрута камера может зафиксировать рекламные щиты, вывески на зданиях и др.) исходных изображений, получаемых камерой смартфона.

При обработке и анализе цифровых изображений, как правило, выполняются следующие этапы [4]:

- сегментация изображений при помощи алгоритмов бинаризации и выделения контуров;
- выделение (поиск) и описание связанных областей;
- сравнение характеристик найденных областей с эталоном.

Ключевой этап идентификации – сравнение выделенного участка исходного изображения с некоторым эталонным изображением, используя различные характеристики, такие как центр тяжести [4], функции спектральной яркости [5], принцип согласованности оценок или оценки максимального правдоподобия [6].

Этап описания связанных областей может осуществляться различными способами: вычисление геометрических признаков [4], применение алгоритма случайной выборки [7], анализ гиперспектральной информации [8], обучение нейронных сетей. Авторами данной работы для описания областей применялся способ, основанный на вычислении геометрических признаков изображения – относительная длина и ширина, отношение квадрата периметра к площади образа, формат, центр тяжести. Для выделения областей, присутствующих на изображении, используются различные алгоритмы, такие как разрастание регионов [9], волновое выращивание областей [10], *tobogganing* [11]. Данные алгоритмы не применимы в задачах с повышенной детализированностью изображений, поскольку основные объекты на изображении разбиваются на десятки более мелких, не поддающихся анализу участков.

Сегментация изображений начинается с применения по отдельности или в комбинации методов бинаризации, выделения контуров и подавления «шумов». От качества выполнения данного этапа зависит результат дальнейшей обработки изображения. На рисунке 1 представлены тестовые изображения (для сокращения объема записи далее в тексте статьи тестовые изображения обозначаются сокращением ТИ с указанием номера), на которых будет проверяться качество выполнения различных алгоритмов бинаризации и выделения контуров. ТИ 1 – изображение, используемое для тестов в различных работах и научных периодических журналах (называемое «Лена»); ТИ 2 и 3 – изображения, рассматриваемые в рамках решаемой задачи, полученные в ночное и дневное время суток авторами статьи при съемке на современный смартфон. Качественным результатом обработки ТИ 2 и 3 будет считаться бинарное изображение, на котором выполнены следующие критерии:

1. чётко определены контуры общественного транспорта (критерий 1);
2. номер маршрута общественного транспорта сохраняется видимым на изображении (критерий 2). На тестовых изображениях 2 и 3 красным цветом отмечены участки, информация на которых должна быть обязательно сохранена.

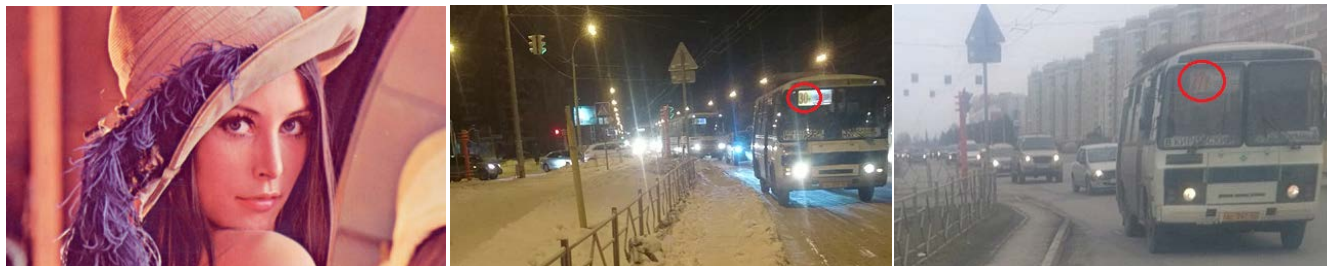


Рис. 1 – Тестовые изображения ТИ 1, ТИ 2, ТИ 3

Изображение ТИ 1 «Лена» используется в основном с целью контроля правильности реализованных авторами известных методов.

В рамках данной работы авторами были реализованы и протестированы различные известные алгоритмы бинаризации: метод Оцу [12] (рисунки 2, а-в), алгоритмы Брэдли-Рота [13] (рисунки 2, г-е), Ниблэка [14], Саволы [15] и Кристиана Вульфа [16], а также алгоритм анализа среднего арифметического цветов пиксела (рисунки 2, ж-и) в модели RGB. Как видно из полученных изображений, ТИ 2 и ТИ 3, в отличие от ТИ 1, можно отнести к классу изображений с низким порогом световой чувствительности. Данное обстоятельство не позволило качественно провести бинаризацию изображений. Однако среди данной группы методов обособленно стоит подход, используемый в иерархическом методе Оцу [17]. Метод Оцу используется для серых изображений, но для того, чтобы он успешно работал в рассматриваемой задаче, достаточно применить его повторно к каждому из двух кластеров пикселей, первоначально полученных оригинальным методом Оцу и, затем, анализируемых как самостоятельные изображения (рисунки 2, к-м). На рисунке 2, л) достаточно четко виден номер маршрута транспортного средства.



Рис. 2 – Бинаризация тестовых изображений ТИ 1, ТИ 2 и ТИ 3: а), б), в) – методом Оцу; г), д), е) – алгоритмом Брэдли-Рота; ж), з), и) – используя среднее арифметическое цветов пикселя; к), л), м) – используя иерархический метод Оцу

Также были реализованы и протестированы алгоритмы выделения контура: различные комбинации Лапласиана [18] с Гауссианом [19] (рисунки 3, а-в), оператор Робертса [18], оператор Собеля [18] (рисунки 3, г-е), оператор Прюитт [18], оператор Кирша [20] (рисунки 3, ж-и), оператор Канни [21] (рисунки 3, к-м). Наиболее качественный результат был получен при использовании Лапласиана  $5 \times 5$ . Только данный оператор позволил сохранить высокую информативность всех ТИ без потери качества информации. Также довольно качественные визуальные результаты показал оператор Кирша, однако толщина полученных контуров не позволяет его использовать в дальнейшем для компьютерной обработки. Остальные алгоритмы «затёрли» ту или иную информацию на ТИ 2 и 3, однако ТИ 1 удалось качественно обработать всеми алгоритмами, но с разным уровнем информативности.

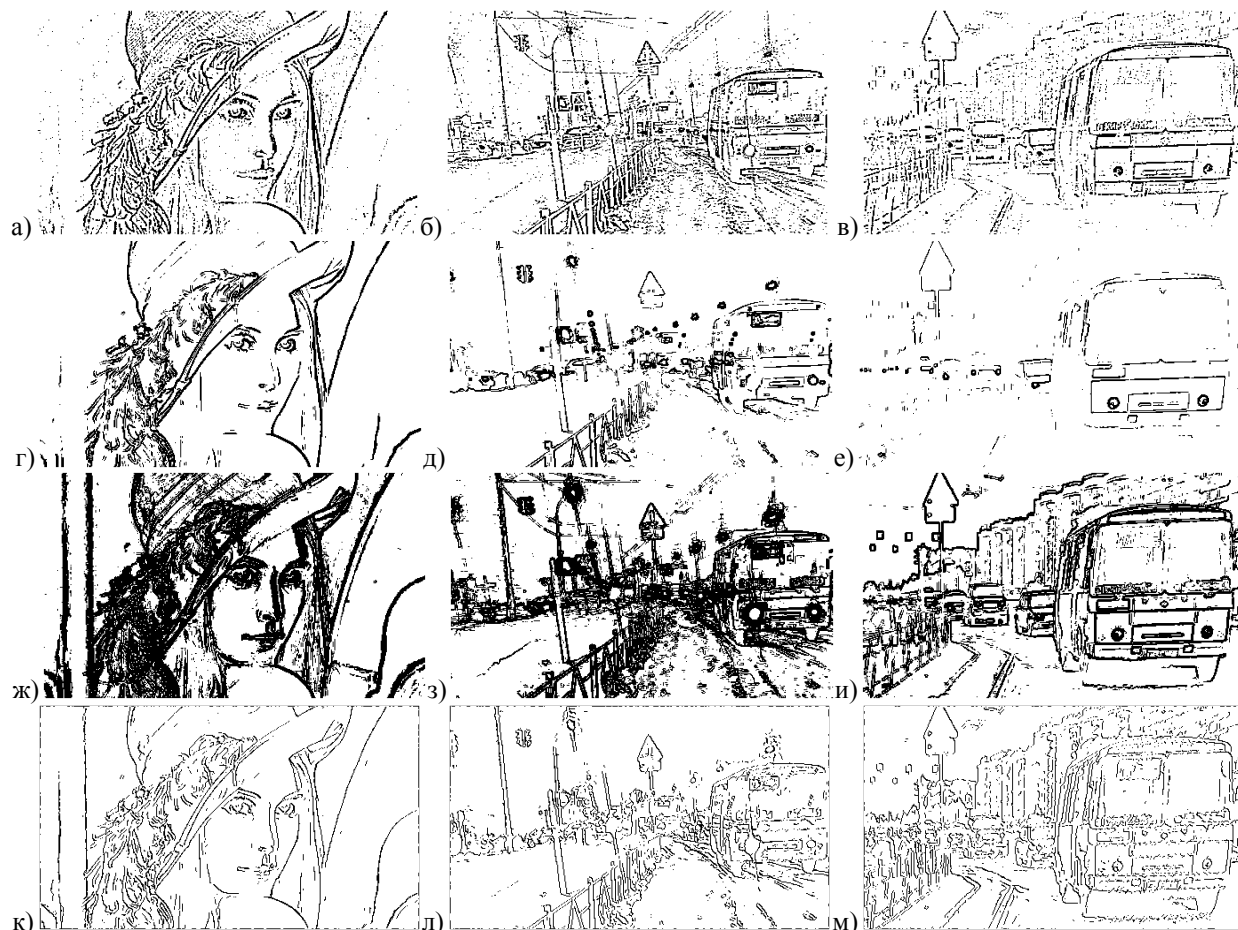


Рис. 3 – Выделение контуров тестовых изображений ТИ 1, ТИ 2 и ТИ 3: а), б), в) – Лапласианом 5x5; г), д), е) – оператором Собеля; ж), з), и) – оператором Кирша; к), л), м) – оператором Канни

Как видно из результатов обработки, изображения теряют важные детали, а именно – не видно цифр номера общественного транспорта (критерий 2), что недопустимо в рамках решаемой задачи. Только иерархический метод Оцу иногда показывает приемлемые результаты.

#### Идея метода размытия оттенков-соседей (метод РОС)

На рисунке 3 для примера приведены результаты представления изображения числа «30» на вывеске маршрутного транспортного средства. На первом рисунке число изображено так, как видит его человек, а на втором рисунке – как «видит» его компьютер в виде растра. В случае цифровых растровых изображений присутствует несколько оттенков (наличие градиента), которые могут быть как оттенками основного цвета, так и вовсе отсутствующего на участке рассматриваемого изображения (рисунок 3, б). Идея предлагаемого метода предварительной обработки изображений (РОС) заключается в размытии «ненужных» оттенков при переходе от одного пиксела к другому. Переход от одного «нужного» пиксела к другому будет считаться линией контура, всё остальное – фон.

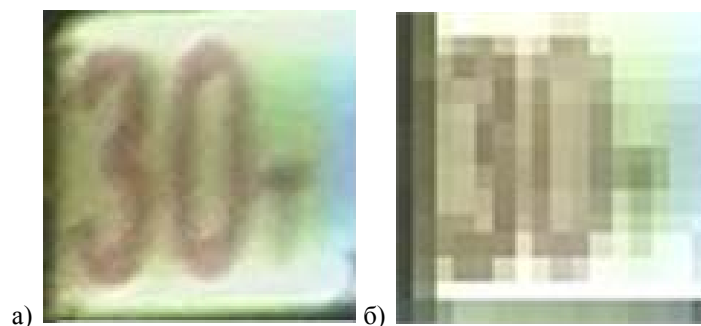


Рис. 3 – Пример представления изображения: а – человеческим глазом; б – в виде растра

Пусть дано цифровое изображение размером  $DimX \times DimY$  пикселей, которое с математической точки зрения можно представить двумерной матрицей  $Im$ . Элемент матрицы  $Im[i, j]$  содержит целочисленное значение функции отображения яркости  $f \in [0, 255]$  согласно цветовой модели RGB, где  $i \in (0, DimX - 1)$ ,  $j \in (0, DimY - 1)$ . Для выделения контура необходимо исходное цифровое изображение  $Im[i, j]$  преобразовать в монохромное  $G[i, j]$

целочисленным оператором, вычисляющим среднее арифметическое значение цвета пиксела  $Pix_{i,j}\{r, g, b\}$  с координатой  $\langle i, j \rangle$  следующим образом:

$$Pix_{i,j}\{\varphi_{i,j}, \varphi_{i,j}, \varphi_{i,j}\}, где \varphi_{i,j} = \frac{r_{i,j} + g_{i,j} + b_{i,j}}{3}. \quad (1)$$

Изображение переводится в монохромное (рисунок 4), чтобы ограничить цветовой спектр до 256 цветов (согласно модели RGB), далее выделение контура выполняется по формуле:

$$B_{i,j} = \begin{cases} 1, & tp_{i,j} \leq G_{i,j} + |c_{i,j}| \\ 0, & tp_{i,j} > G_{i,j} + |c_{i,j}| \end{cases}, \quad (2)$$

$$где \quad tp_{i,j} = \frac{1}{9} \sum_{\substack{-1 \leq k \leq 1 \\ -1 \leq m \leq 1}} G_{i+k, j+m}, \quad a \quad c_{i,j} = \{G_{i+k, j+m}, -1 \leq k \leq 1, -1 \leq m \leq 1\}.$$

В формуле 2  $c_{i,j}$  – множество, состоящее из цвета пиксела  $\langle i, j \rangle$  и цветов пикселей окружающих его соседей, а  $tp_{i,j}$  – среднее арифметическое элементов этого множества. В полученном бинарном изображении  $B[i, j]$  значение 1 соответствует линии контура, а значение 0 – фону. Если мощность множества  $|c_{i,j}|$  больше четырёх [22], считается, что пиксел  $\langle i, j \rangle$  относится к шуму, и его мощность искусственно устанавливается равной четырём, чтобы повысить вероятность его исключения из линии контура. Важно отметить, что наложение собственных условий на мощность множества может привести к различным результатам. Данное обстоятельство можно применить, когда требуется получить более специфичное решение в задачах выделения контуров. Реализация метода выполнялась на языке C# (листинг 1).

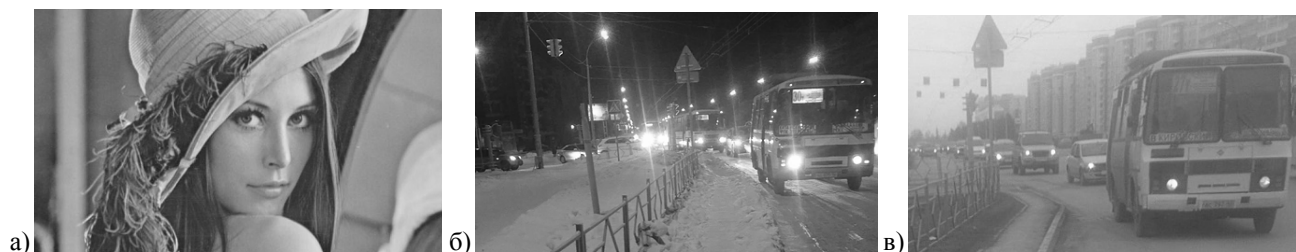


Рис. 4 – Монохромное представление изображений по формуле 1: а – ТИ 1; б – ТИ 2; в – ТИ 3

```

void ShadesNeighbors_method (float [,] src, float [,] res, int width, int height){
    float temp, b_boundary, b_background;
    float [] s = new float [9];

    if (radioButton_WB.Checked) {b_boundary = 255; b_background = 0;}
    else {b_boundary = 0; b_background = 255;}

    for (int i = 1; i < width - 1; i++) {
        for (int j = 1; j < height - 1; j++) {
            s [0] = src [i - 1, j - 1]; s [1] = src [i - 1, j]; s [2] = src [i - 1, j + 1];
            s [3] = src [i, j - 1]; s [4] = src [i, j]; s [5] = src [i, j + 1];
            s [6] = src [i + 1, j - 1]; s [7] = src [i + 1, j]; s [8] = src [i + 1, j + 1];
            temp = (s [0] + s [1] + s [2] + s [3] + s [4] + s [5] + s [6] + s [7] + s [8]) / 9;
            QuickSort(s);
            B [i, j] = temp <= G [i, j] + Cardinality(s) ? b_boundary : b_background;
        }
    }
    return;
}

int Cardinality (float [] s){
    int k = 1;
    for (int i = 1; i < s.Length; i++) {
        if (s [i] != s [i - 1]) k++;
    }
    return k > 4 ? 4 : k;
}

```

Листинг 1 – Метод размытия оттенков-соседей:

Результаты выделения контуров для ТИ 1-3 представлены на рисунке 5. Проанализировав рисунки, можно сделать вывод, что после обработки ТИ 2 выполняются требования критериев 1 и 2, а для ТИ 3 – только критерия 1. При этом в результате обработки ТИ 1 данным алгоритмом изображение сохраняет свою информативность, как и в случае применения других классических алгоритмов.



Рис. 5 – Выделение контуров методом РОС: а – ТИ 1; б – ТИ 2; в – ТИ 3

Чтобы добиться выполнения критерия 2 и на ТИ 3, рассмотрим возможность предобработки изображения с помощью некоторого предиктора, который скорректирует резкость исходного изображения. Несколько различных способов предобработки было предложено автором работы [23]. В данной статье будет предложен новый способ.

#### Предиктор резкости изображения

Для повышения качества детализации изображения при выделении контуров необходимо выполнить предобработку изображения, которая бы усреднила яркости всех пикселей до некоторой константы, причём информативность исходного изображения не должна уменьшиться.

Человеческий глаз может определить около 30 оттенков серого в зависимости от освещения [24]. Основываясь на этом, можно усреднить зоны изображения до конкретного оттенка серого, исходя из текущей яркости пиксела. Однако битовая глубина цвета (модель RGB) равняется 24 битам, которая не позволяет корректно сгруппировать 256 оттенков в 30, поэтому разобьём цветовой спектр монохромного изображения на 24 группы. Таким образом, каждая группа будет состоять из  $256 / 24 = 10,67 \approx 11$  оттенков. Затем в обрабатываемом монохромном изображении проводится замена оттенков, попадающих в группу, на начальный оттенок этой группы (таблица 1).

Таблица 1 – Замены оттенков

Изначальные оттенки	Новые оттенки	Изначальные оттенки	Новые оттенки	Изначальные оттенки	Новые оттенки
0..10	0	88..98	88	176..186	176
11..21	11	99..109	99	187..197	187
22..32	22	110..120	110	198..208	198
33..43	33	121..131	121	209..219	209
44..54	44	132..142	132	220..230	220
55..65	55	143..153	143	231..241	231
66..76	66	154..164	154	242..252	242
77..87	77	165..175	165	253..255	253

На рисунке 6 представлен результат работы предиктора с исходными тестовыми изображениями. Сравнивая изображения до (рисунок 4) и после обработки предиктором (рисунок 6), можно сделать вывод, что визуальная детализация и информативность изображения была сохранена.



Рис. 6 – Результат обработки предиктором: а – ТИ 1; б – ТИ 2; в – ТИ 3

На рисунке 7 представлены результаты выделения контуров изображений методом РОС с применением предложенного предиктора.



Рис. – 7. Выделение контуров методом РОС после обработки предиктора: а – ТИ 2; б – ТИ 3

На полученных изображениях вся необходимая информация сохранена (выполнено требование критерия 2). Дополнительным эффектом такого подхода является излишняя детализация, однако варьируя количество оттенков (вместо предложенных 30) в группе можно повышать или снижать уровень детализации бинарного изображения.

#### Сравнение с другими алгоритмами

Проведено сравнение предложенного подхода (метод РОС и предиктор) с другими популярными [25] алгоритмами выделения контура, такими как операторы Канни и Кирша, а также Лапласианом 5x5. Сравнение результатов выполнения алгоритмов производилось по следующим оценкам:

- визуальная оценка качества выделения контуров при помощи нечётких множеств [26];
- оценка толщины контуров полученных изображений;
- численная оценка качества выделения границ на основе пикового отношения сигнала к шуму [27];
- оценка временных затрат выполнения алгоритмов.

**Визуальная оценка.** Для тестирования качества работы алгоритма проведено сравнение с другими алгоритмами на изображениях (ТИ 4, 5, 6), не относящихся к решаемой задаче данной работы (рисунок 8) [28].

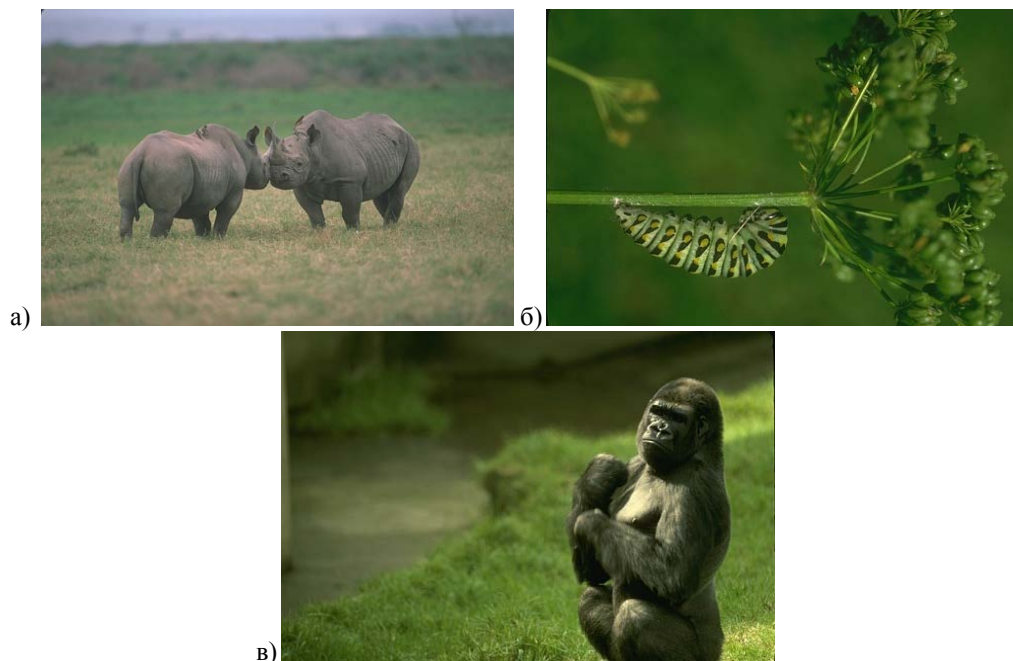


Рис. 8 – Тестовые изображения ТИ 4, 5 и 6 из работы [28]

На рисунках 9-11 представлены тестовые изображения и результаты работы алгоритмов.

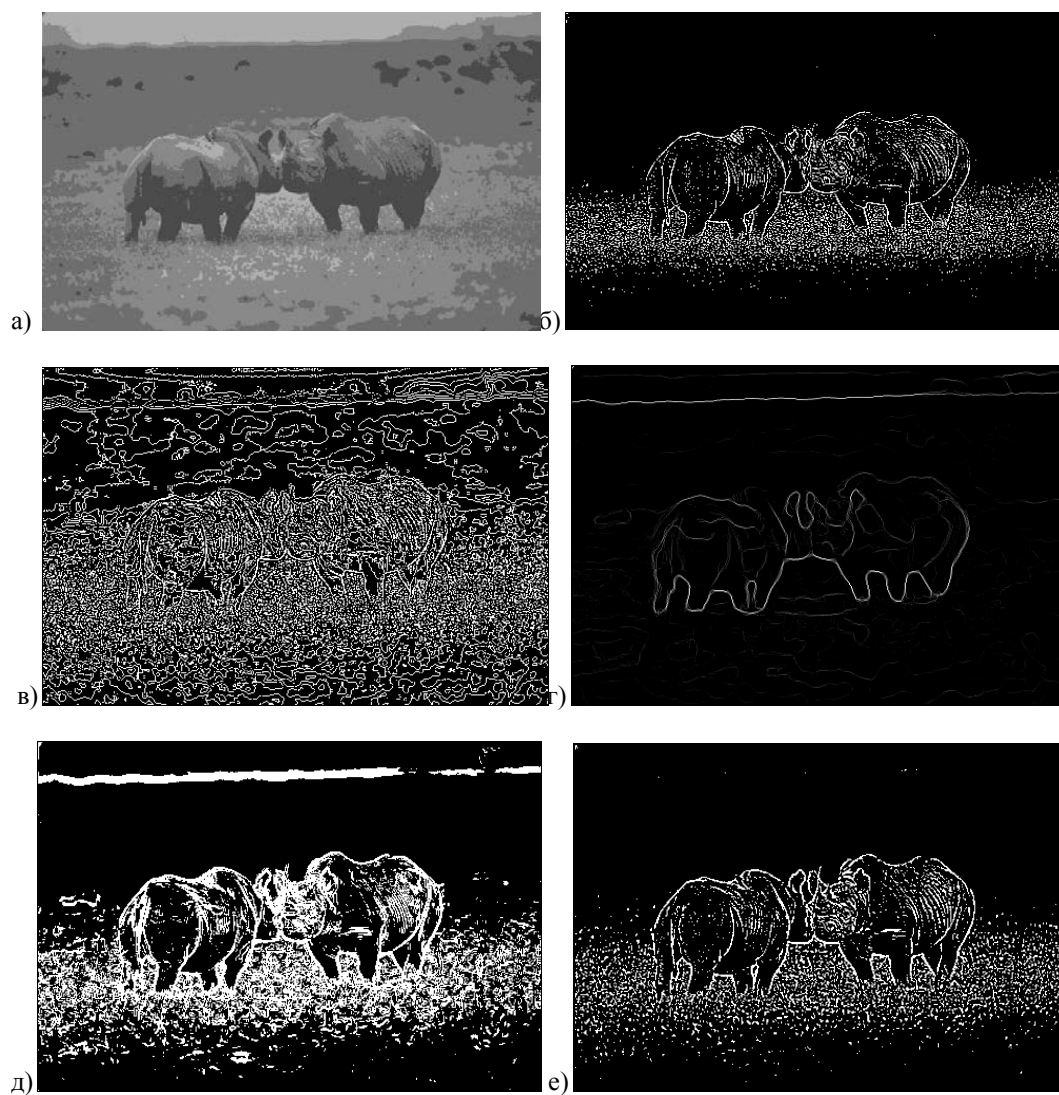


Рис. 9 – ТИ 4: а – обработка иерархическим методом Оцу; б – обработка методом РОС без предиктора; в – обработка методом РОС с предиктором; г – обработка оператором Канни; д – обработка оператором Кирша; е – обработка Лапласианом 5x5

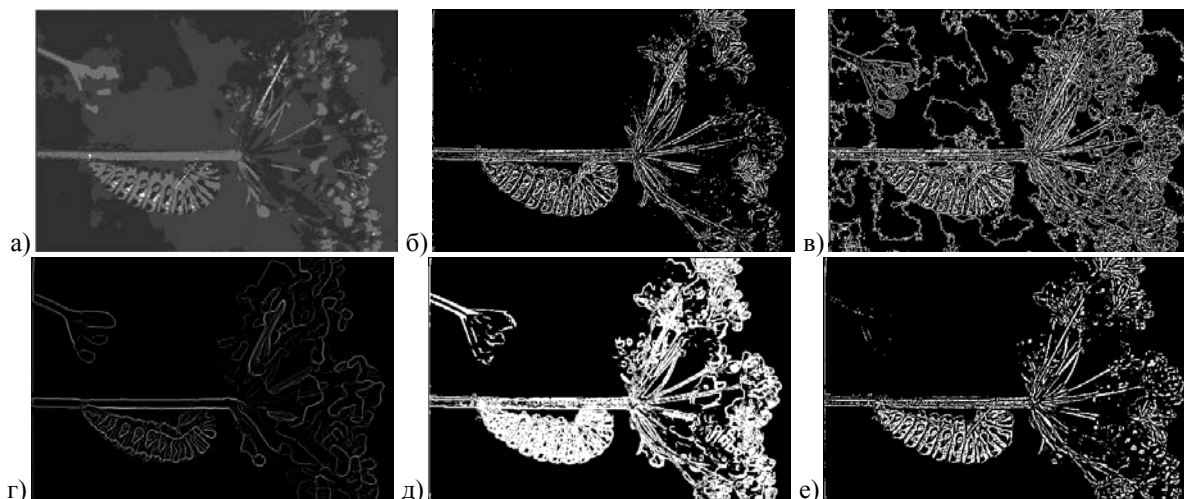


Рис. 10 – ТИ 5: а – обработка иерархическим методом Оцу; б – обработка методом РОС без предиктора; в – обработка методом РОС с предиктором; г – обработка оператором Канни; д – обработка оператором Кирша; е – обработка Лапласианом 5х5

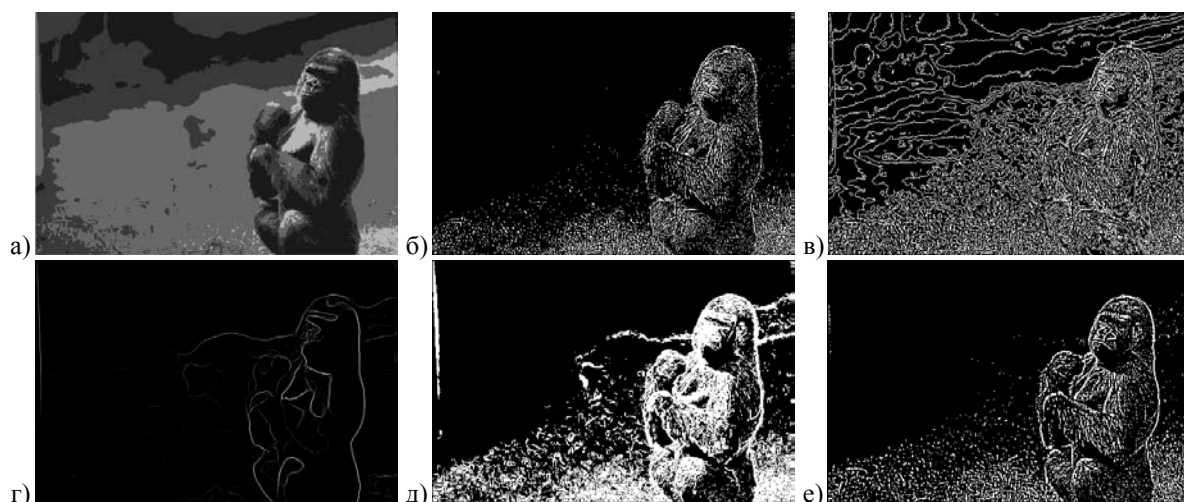


Рис. 11 – ТИ 6: а – обработка иерархическим методом Оцу; б – обработка методом РОС без предиктора; в – обработка методом РОС с предиктором; г – обработка оператором Канни; д – обработка оператором Кирша; е – обработка Лапласианом 5х5

Как видно из изображений, у каждого алгоритма свои положительные стороны и недостатки, в зависимости от исходного изображения. Для оценки визуального качества результатов каждого из алгоритмов был проведён опрос пятидесяти респондентов, которых попросили произвести оценку полученных результатов по десятибалльной шкале (1 – наихудший показатель, 10 – наилучший) по трём критериям: точность детализации, чёткость контуров, качество изображения в целом. Средневзвешенная оценка критериев каждого из алгоритмов представлена в таблице ниже (таблица 2). Иерархический метод Оцу не рассматривался в сравнении, т.к. он применяется к полутоновым изображениям (при этом на тестах показывает хорошие результаты).

Таблица 2 – Средневзвешенная оценки критериев

Алгоритм	Оценка детализации	Оценка контуров	Оценка качества
РОС с предиктором	5.2	4.94	5.31
РОС б/предиктора	6.16	5.71	4.70
Оператор Канни	5.25	5.1	5.03
Оператор Кирша	6.96	7.38	6.81
Оператор Лапласа	6.57	6.69	6.48

Средневзвешенный балл оцениваемого критерия используется в качестве входных переменных системы нечеткого вывода для оценки его качества. При этом каждая переменная описывается одним из трех термов: П – «плохо», У – «удовлетворительно», Х – «хорошо». Для каждой из трёх переменных была установлена функция принадлежности вида  $\mu(x) = (1.5, 10, 10)$ . Выходная переменная «качество результатов выполнения алгоритма» также описывается одним из трех указанных термов. В таблице 3 приведены некоторые правила для определения взаимосвязей между входными и выходной переменными.

Таблица 3 – Правила взаимосвязей между переменными

Детализация	Контуры	Качество изображения	Качество результатов алгоритма
X	X	X	X
X	У	X	X
У	X	У	У
П	У	П	П

После проведения процедуры дефаззификации с использованием метода центра тяжести и применения правил нечёткого вывода получены следующие результаты (таблица 4). Из полученных результатов можно сделать вывод, что по визуальной оценке наиболее предпочтительными являются результаты операторов Кирша и Лапласа. Очевидно, что данное предпочтение было отдано респондентами благодаря толщине полученных линий контура и точности передачи деталей, необходимых для понимания информации, которую несёт в себе изображение. Поэтому довольно удивительно, что использование оператора Лапласа редко упоминается в других работах.

Таблица 4 – Результаты оценки нечеткими множествами

Алгоритм	Качество результатов
РОС с предиктором	Удовлетворительное
РОС б/предиктора	Удовлетворительное
Оператор Канни	Удовлетворительное
Оператор Кирша	Хорошее
Оператор Лапласа	Хорошее

*Оценка толщины контуров.* При получении контуров толщина выделяемой границы должна стремиться к одной точке [29]. Для оценки степени выполнимости этого критерия в данной работе осуществляется выделение контуров на тестовом изображении 7 (рисунок 11). Границы изображения очерчены единичным контуром. Результаты применения алгоритмов представлены на рисунках 12, а-е.



Рис. 11 – Трехцветное картографическое изображение (ТИ 7)

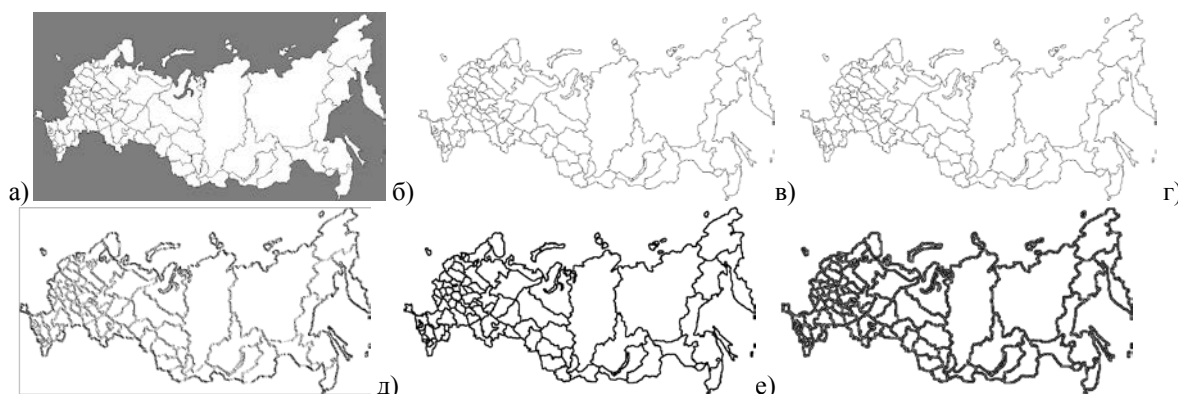


Рис. 12 – ТИ 7: а – обработка иерархическим методом Оцу; б – обработка методом РОС без предиктора; в – обработка методом РОС с предиктором; г – обработка оператором Канни; д – обработка оператором Кирша; е – обработка Лапласианом 5x5

Из полученных изображений без дополнительных вычислений видно, что метод Оцу и предложенный метод РОС удовлетворяют данному критерию.

*Численная оценка качества выделения границ.* Для численной оценки качества выделения границ используется метод на основе пикового отношения сигнала к шуму (PSNR) [27]. Для этого рассчитываются три показателя: вероятность верного детектирования, вероятность ошибки первого рода, вероятность ошибки второго рода, используя

формулы 3-5 соответственно. Здесь  $N_I$  – количество граничных точек в идеальном контуре объекта;  $N_B$  – количество граничных точек в полученном в процессе детектирования контуре объекта;  $TP$  – количество верно определённых точек объекта;  $FN$  – количество точек, которые являются граничными точками объекта, но которые не были обнаружены детектором границ;  $FP$  – количество точек, которые не являются граничными точками объекта, но которые были определены детектором границ.

$$P_{co} = \frac{TP}{\max(N_I, N_B)}, \quad (3)$$

$$P_{rd} = \frac{FN}{\max(N_I, N_B)}, \quad (4)$$

$$P_{fa} = \frac{FP}{\max(N_I, N_B)}. \quad (5)$$

Расчёт численной оценки качества выделения границ выполняется по формулам 6-7, где  $RE$  – относительная ошибка, определённая через рассмотренные ранее примитивные метрики, в которой  $\alpha$  – константа, ограничивающая  $RE$  сверху;  $b, c, d$  – весовые коэффициенты, являющиеся мерами значимости примитивных метрик.

$$RE = (b * P_{co} + \alpha)^{-1} + c * P_{fa} + d * P_{rd}, \quad (6)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{RE} \right). \quad (7)$$

Критерий оптимальной сегментации рассматривается в виде:  $PSNR \rightarrow \max$ . Поскольку тестовое изображение 7 (рис.11) и есть контур, то можно определить  $PSNR_{\max}$ , сравнив изображения с самим собой. В качестве коэффициентов  $a, b, c, d$  использовались константы 2, 0.7, 0.2 и 0.1 соответственно. Результаты расчётов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Численная оценка качества

Метод	$P_{co}$	$P_{rd}$	$P_{fa}$	$RE$	$PSNR$
Эталон	1	0	0	0.37	4.31
РОС без предиктора	1	0	0	0.37	4.31
РОС с предиктором	1	0	0	0.37	4.31
Оператор Канни	0.09	0.29	0.91	0.70	1.57
Оператор Кирша	0.28	0	0.72	0.60	2.21
Лапласиан 5x5	0	0.20	1	0.72	1.42

Из таблицы 5 видно, что благодаря своему свойству выделения единичной линии контура, и тому, что данное изображение изначально создавалось в цифровом виде, метод РОС в обоих случаях показал 100%-ое выделение всех линий контура.

**Оценка временных затрат.** Для оценки временных затрат выполнения алгоритмов было взято тестовое изображение размерностью 4140x5520 пикселей. Расчёты проводились на 2-х ядрах процессора Intel® Core™ i5-6267U CPU с частотой 2.90 GHz. Результаты тестирования представлены в таблице 6. Тестирование показывает, что наименее ресурсозатратным является метод РОС, причём использование предиктора ускоряет выполнение основного алгоритма.

Таблица 6 – Время выполнения алгоритмов

Метод	Время выполнения, с
Оператор Канни	249
Метод РОС без предиктора	44
Метод РОС с предиктором	31
Оператор Кирша	70
Оператор Лапласа	70

## Заключение

В ходе исследования было проведено тестирование известных алгоритмов обработки изображения. Поскольку результаты работы большинства из этих алгоритмов не удовлетворяли установленным критериям, были предложены эмпирические алгоритмы, которые позволяют добиться необходимых результатов в получаемом на выходе изображении. Как показало тестирование, предложенные алгоритмы эффективно справляются с фотоснимками, с изображениями с низким порогом световой чувствительности (ТИ 2 и 3) и изображениями, в которых отсутствует градиент (контурное изображение), при этом соблюдаются численные оценочные критерии. Однако стоит также отметить, что авторы работы изначально незаслуженно мало уделили внимания известному иерархическому методу Оцу, который также в большинстве случаев показывал хорошие результаты работы (на предварительно обработанных изображениях).

Авторы статьи ведут разработку мобильного приложения для смартфонов на базе ОС Android, в котором номер маршрута общественного транспорта сначала распознается, а затем озвучивается пользователю с помощью голосового синтезатора. Выявленные в данной работе лучшие алгоритмы решают задачу сохранения номера маршрута общественного транспорта на изображении после предварительной обработки. Затем на изображении ведётся поиск общественного транспорта по его схематичному представлению (для локализации места поиска номера таблички с номером маршрута). В дальнейшем осуществляется распознавание цифр номера маршрута на заданных участках и его озвучивание синтезатором голоса.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках инициативного проекта КемГУ.

## Funding

The work was carried out within the framework of the initiative project KemSU.

## Конфликт интересов

Не указан.

## Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Карабцев С.Н. Информационное обеспечение доступной образовательной среды для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью в условиях ВУЗа / С.Н. Карабцев, Т.А. Хорошева, Р.С. Макачук // Международный научно-исследовательский журнал. - 2017. - № 2-3 (56). - С. 105-108.
2. Karabtcev S.N. BLE beacon interaction module and mobile application in the indoor-navigation system / S.N. Karabtcev, T.A. Khorosheva, N.R. Kapkov // В сборнике: International Science and Technology Conference EastConf 2019. - 2019. - С. 51-56.
3. Фокин Д.С. Реализация программных модулей взаимодействия с системами синтеза и распознавания речи для лиц с нарушениями зрения / Д.С. Фокин, С.Н. Карабцев // В сборнике: Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции "Научное творчество молодежи. Математика. Информатика" Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции. - 2016. - С. 180-185.
4. Визильтер Ю.В. Обработка и анализ цифровых с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Осоков, А.В. Моржин. - М.: ДМК Пресс, 2016. - 464 с.
5. Chang C.I. Hyperspectral Data Processing: Algorithm Design and Analysis / C.I.Chang // John Wiley & Sons, 2013. - 1164 p.
6. Винклер Г. Анализ изображений, случайные поля и динамические методы Монте-Карло / Г. Винклер. - Новосибирск: Филиал "Гео" Издательства СО РАН, 2002. - 343 с.
7. Вахитов А.Т. Алгоритм случайной выборки в задаче поиска образца в изображении / А.Т. Вахитов, Д.В. Павленко // Труды СПИИРАН. вып. 9, 2009. С. 178-185.
8. Demidova L.A. Algorithms of the Objects' Identification According to Hyperspectral Shooting of the «Resource-P» Spacecraft / L.A. Demidova, S.V. Truhanov // MATEC Web of Conferences 99, 03002, - 2017. - 6 p.
9. Носова С.А. Построение модели кровеносных сосудов и их исследование по данным компьютерной томограммы / С.А. Носова // Вестник ННГУ, №1(2), - 2014. - С. 265-269.
10. Альмияхи О.М. Сегментация изображений на основе волнового выращивания областей / О.М. Альмияхи, В.Ю. Цветков, В.К. Конопелько // Доклады БГУИР, №3 (97). - 2016. - С. 24-30.
11. Bavya K. Feature Extraction and Classification of Automatically Segmented Lung Lesion Using Improved Toboggan Algorithm / K. Bavya, P. Julian // International Journal of Advanced Engineering Research and Science, №4 (6), 2017. - P. 1-9.
12. Otsu N. A. Threshold selection method from gray-level histograms / N.A. Otsu // IEEE Trans. Systems. Man and Cybernetics. - Vol. SMC-9. №1. - 1979. -P. 62-66.
13. Bradley D. Bradley Adaptive Thresholding Using the Integral Image / D. Bradley, G. Roth // Journal of Graphics Tools. - Vol. 12(2). - 2007. -P. 13-21.
14. Niblack W. An Introduction to Digital image processing / W. Niblack // Prentice Hall, 1986. - 215 p.
15. Sauvola J. Adaptive document image binarization / J. Sauvola // Pattern Recognition. -Vol. 33, 2000. - P. 225-236.
16. Wolf C. Extraction and Recognition of Artificial Text in Multimedia Documents / C. Wolf, J-M. Jolion // Pattern Analysis and Applications. -Vol. 6. - 2003. - P. 309-326.
17. Харинов М.В. Альтернатива иерархическому методу Оцу для цветового изображения / М.В. Харинов // Вестник Бурятского государственного университета. -Т. 9(2). - 2014. - С. 64-72.
18. Титов И.О. Выделение контуров изображения движущегося объекта / И.О. Титов, Г.М. Емельянов // Вестник Новгородского государственного университета. -№. 55, 2010. - С. 27-31.
19. Haddad R.A. A Class of Fast Gaussian Binomial Filters for Speech and Image Processing / R.A. Haddad, A.N. Akansu // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. - Vol. 39, 1991. -P. 723-727.

20. Kirsh R.A. Computer Determination of the Constituent Structure of Biological Images / R.A.Kirsh // Computers and biomedical research. –Vol. 4, 1971. –P. 315-328.
21. Canny J. A computational approach to edge detection / J.A. Canny // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. –Vol. 8, № 6, 1986. –P. 679–698.
22. Лукин А.С. Локальная оценка уровня шума на цифровых изображениях / А.С. Лукин, Н.В. Мамаев, Д.В. Юрин // Труды 16-й международной конференции «Цифровая обработка сигналов и её применение». –Т. 2, 2014. –С. 445–449.
23. Хрящев Д.А. Предварительная обработка и анализ цифровых изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 28.02.14 //ФГБОУ ВПО КГТУ, 2014. –16 с.
24. Kreit E. Biological versus electronic adaptive coloration: how can one inform the other? / E. Kreit, L.M. Mathger, R.T. Hanlon, P.B. Dennis, R.R. Naik, E.Forsythe, J. Heikenfeld // Journal of the Royal Society Interface. –Vol. 10 (78), 2013. –13p.
25. Пелевин Е.Е. Оптимальные алгоритмы выделения контуров изображения в системе технического зрения / Е.Е. Пелевин, С.В. Баясний // Juvenis scientia. – № 6, 2016. –С. 6-8.
26. Польте Г.А. Количественная оценка качества изображений с использованием методов нечеткой логики / Г.А. Польте, А.П. Саенко // Известия вузов. Приборостроение. –Т. 54, № 3, 2011. –С. 32-36.
27. Лебедько Д.С. Заки Хассан. Методы численной оценки качества выделения границ на изображениях / Д.С. Лебедько, Н.А. Тюкачев, М.Н. Мохаммед // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии. – № 4, 2015. –С. 73-77.
28. Brown University: pb-lite Boundary Detection, part 1, part 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://cs.brown.edu/courses/cs143/2011/results/proj2/vibhu> (дата обращения: 12.05.2019).
29. Дубинин Д.В. Оценка качества алгоритмов оконтуривания объектов на изображениях, аппроксимированных однородными Марковскими полями / Д.В. Дубинин, В.Е. Лаевский, А.И. Кочегуров // Известия Томского политехнического университета. –Т. 317, № 5, 2010. –С. 130-134.

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

1. Karabtsev S.N. Informatsionnoye obespecheniye dostupnoy obrazovatel'noy sredy dlya lits s ogranichennymi vozmozhnostyami zdorov'ya i invalidnost'yu v usloviyakh VUza [Information support of an accessible educational environment for people with disabilities and disabilities in university] / S.N. Karabtsev, T.A. Khorosheva, R.S. Makarchuk // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. –2017. –No. 2-3 (56). –P. 105-108. [in Russian]
2. Karabtcev S.N. BLE beacon interaction module and mobile application in the indoor-navigation system / S.N. Karabtcev, T.A. Khorosheva, N.R. Kapkov // In the collection: International Science and Technology Conference EastConf 2019. –2019. –P. 51-56.
3. Fokin D.S. Realizatsiya programmnykh moduley vzaimodeystviya s sistemami sinteza i raspoznavaniya rechi dlya lits s narusheniyami zreniya [Implementation of software modules for interaction with speech synthesis and recognition systems for people with visual impairments] / D.S. Fokin, S.N. Karabtsev // V sbornike: Materialy XX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauchnoye tvorchestvo molodezhi. Matematika. Informatika" Materialy XX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [In the collection: Materials of the XX All-Russian scientific-practical conference "Scientific creativity of youth. Mathematics. Computer science" Materials of the XX All-Russian scientific-practical conference]. –2016. –P. 180-185. [in Russian]
4. Visilter Yu.V. Obrabotka i analiz tsifrovyykh s primerami na LabVIEW i IMAQ Vision [Digital processing and analysis with examples on LabVIEW and IMAQ Vision] / Yu.V. Visilter, S.Yu. Zheltov, A.V. Bondarenko, M.V. Osokov, A.V. Morgin. –M.: DMK Press, 2016. –464 p. [in Russian]
5. Chang C.I. Hyperspectral Data Processing: Algorithm Design and Analysis / C.I.Chang // John Wiley & Sons, 2013. –1164 p.
6. Winkler G. Analiz izobrazhenii, sluchaynyye polya i dinamicheskiye metody Monte-Karlo [Image analysis, random fields and dynamic Monte Carlo methods] / G. Winkler. –Novosibirsk: "Geo" Publishing House, SB Branch of RAS, 2002. –343 p. [in Russian]
7. Vakhitov A.T. Algoritm sluchaynoy vyborki v zadache poiska obraztsa v izobrazhenii [Random Sampling Algorithm in Problem of Searching a Pattern in Image] / A.T. Vakhitov, D.V. Pavlenko // Trudy SPIIRAN [Proceedings of SPIIRAS]. –Is. 9, 2009. –P. 178–185. [in Russian]
8. Demidova L.A. Algorithms of the Objects' Identification According to Hyperspectral Shooting of the «Resource-P» Spacecraft / L.A. Demidova, S.V. Truhanov // MATEC Web of Conferences 99, 03002, –2017. –6 p.
9. Nosova S.A. Postroyeniye modeli krovenosnykh sosudov i ikh issledovaniye po dannym komp'yuternoy tomogrammy [Construction of blood vessel models and their study according to computed tomography] / S.A. Nosova // Vestnik NNGU [Bulletin of the NNSU], –No. 1 (2), –2014. –P. 265-269. [in Russian]
10. Almiyahi O.M. Segmentatsiya izobrazheniy na osnove volnovogo vyrashchivaniya oblastey [Image Segmentation Based on Wave Growth of Regions] / O.M. Almiyahi, V.Yu. Tsvetkov, V.K. Konopelko // [Reports of BSUIR], –No. 3 (97). –2016. –P. 24-30. [in Russian]
11. Bavya K. Feature Extraction and Classification of Automatically Segmented Lung Lesion Using Improved Toboggan Algorithm / K. Bavya, P. Julian // International Journal of Advanced Engineering Research and Science, №4 (6), 2017. –P. 1–9.
12. Otsu N. A. Threshold selection method from gray-level histograms / N.A. Otsu // IEEE Trans. Systems. Man and Cybernetics. –Vol. SMC-9. №1. –1979. –P. 62-66.
13. Bradley D. Bradley Adaptive Thresholding Using the Integral Image / D. Bradley, G. Roth // Journal of Graphics Tools. –Vol. 12(2). –2007. –P. 13-21.
14. Niblack W. An Introduction to Digital image processing / W. Niblack // Prentice Hall, 1986. –215 p.
15. Sauvola J. Adaptive document image binarization / J. Sauvola // Pattern Recognition. –Vol. 33, 2000. –P. 225–236.

16. Wolf C. Extraction and Recognition of Artificial Text in Multimedia Documents / C. Wolf, J-M. Jolion // Pattern Analysis and Applications. -Vol. 6. – 2003. – P. 309–326.
17. Kharinov M.V. Al'ternativa iyerarkhicheskomu metodu Otsu dlya tsvetovogo izobrazheniya [Alternative to Otsu hierarchical method for color image] / M.V. Kharinov // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Buryat State University]. – V. 9 (2). – 2014. – P. 64-72. [in Russian]
18. Titov I.O. Vydeleniye konturov izobrazheniya dvizhushchegosya ob"yektu [Detection of contours on moving object image] / I.O. Titov, G.M. Emelyanov // Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Novgorod State University]. – No. 55. – 2010. – P. 27-31. [in Russian]
19. Haddad R.A. A Class of Fast Gaussian Binomial Filters for Speech and Image Processing / R.A. Haddad, A.N. Akansu // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. - Vol. 39, 1991. -P. 723-727.
20. Kirsh R.A. Computer Determination of the Constituent Structure of Biological Images / R.A.Kirsh // Computers and biomedical research. –Vol. 4, 1971. -P. 315-328.
21. Canny J. A computational approach to edge detection / J.A. Canny // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. -Vol. 8, № 6, 1986. -P. 679–698.
22. Lukin A.S. Lokal'naya otsenka urovnya shuma na tsifrovyykh izobrazheniyakh [Local estimation of noise level in digital images] / A.S. Lukin, N.V. Mamaev, D.V. Yurin // Trudy 16-y mezhdunarodnoy konferentsii «Tsifrovaya obrabotka signalov i yeyo primeneniye» [Proceedings of the 16th international conference "Digital signal processing and its application."] – V. 2, – 2014. – P. 445–449. [in Russian]
23. Khryashchev D.A. Predvaritel'naya obrabotka i analiz tsifrovyykh izobrazheniy, poluchennykh v usloviyakh nedostatochnoy osveshchennosti [Pre-processing and analysis of digital images obtained in low light conditions] PhD thesis in Engineering: 02.28.14 // FSBOU VPO KSTU, 2014. – 16 p. [in Russian]
24. Kreit E. Biological versus electronic adaptive coloration: how can one inform the other? / E. Kreit, L.M. Ma'thger, R.T. Hanlon, P.B. Dennis, R.R. Naik, E.Forsythe, J. Heikenfeld // Journal of the Royal Society Interface. – Vol. 10 (78), 2013. – 13 p.
25. Pelevin E.E. Optimal'nyye algoritmy vydeleniya konturov izobrazheniya v sisteme tekhnicheskogo zreniya [Optimal algorithms for detecting image contours in technical vision system] / E.E. Pelevin, S.V. Balustered // Juvenis scientia. – No. 6, 2016. – P. 6-8. [in Russian]
26. Polte G.A. Kolichestvennaya otsenka kachestva izobrazheniy s ispol'zovaniyem metodov nechetkoy logiki [Quantitative assessment of image quality using fuzzy logic methods] / G.A. Polte, A.P. Sayenko // [University proceedings. Instrument making]. – V. 54, – No. 3, 2011. – P. 32-36. [in Russian]
27. Lebedko D.S. Zaki Hassan. Metody chislennoy otsenki kachestva vydeleniya granits na izobrazheniyakh [Methods for numerical assessment of quality of border allocation on images] / D.S. Lebedko, N.A. Tyukachev, M.N. Mohammed // Vestnik VGU, seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii [Bulletin of Voronezh State University, series: System analysis and information technology]. – No. 4, 2015. – P. 73-77. [in Russian]
28. Brown University: pb-lite Boundary Detection, part 1, part 2 [Электронный ресурс]. URL URL: <http://cs.brown.edu/courses/cs143/2011/results/proj2/vibhu> (accessed: 05,12,2019).
29. Dubinin D.V. Otsenka kachestva algoritmov okonturivaniya ob"yektov na izobrazheniyakh, approksimirovannykh odnorodnymi Markovskimi polyami [Assessment of quality of contouring algorithms for objects in images approximated by homogeneous Markov fields] / D.V. Dubinin, V.E. Laevsky, A.I. Kochegurov // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Tomsk Polytechnic University]. – V. 317, – No. 5, – 2010. – P. 130-134. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.004>**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ**

Научная статья

**Кузин С.И.<sup>1,\*</sup>, Никольский В.В.<sup>2,\*</sup>**<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, Тула, Россия

\* Корреспондирующий автор (godslav[at]yandex.ru; nvv.nb[at]mail.ru)

**Аннотация**

Изделия современной техники, в состав которых входят механизмы и механические подсистемы циклической автоматики, представляют собой сложные технические объекты. Эффективная разработка таких объектов в условиях жесткой конкуренции (сжатые сроки, высокие требуемые характеристики, необходимость минимизации материальных затрат на проектирование и отладку) невозможна без использования автоматизации проектирования.

Проблема построения математических моделей проектируемых изделий и их подсистем является центральной при реализации САПР, поскольку успешность результатов проектирования зависит в первую очередь от качества моделей.

В статье рассмотрен программный комплекс моделирования динамики механизмов циклической автоматики с использованием программных средств в пакете программ SolidWorks и последующим анализе динамики как отдельных узлов, так и всей системы целиком в программной среде MatLab.

**Ключевые слова:** SolidWorks, MatLab, механические системы с неудерживающими связями, динамика механизмов циклической автоматики, математическое моделирование.

**SOFTWARE PACKAGE FOR MODELING DYNAMICS OF CYCLIC AUTOMATION MECHANISMS**

Research article

**Kuzin S.I.<sup>1,\*</sup>, Nikolsky V.V.<sup>2,\*</sup>**<sup>1,2</sup> FSBEI of HE, Tula State University, Russia, Tula

\* Corresponding author (godslav[at]yandex.ru; nvv.nb[at]mail.ru)

**Abstract**

Products of modern technology, which include mechanisms and mechanical subsystems of cyclic automation, are complex technical objects. Effective development of such objects under the conditions of fierce competition (tight deadlines, high characteristics required, the need to minimize material costs for design and debugging) is impossible without the use of design automation.

The problem of constructing mathematical models of designed products and their subsystems is central to the implementation of CAD since the success of design results depends primarily on the quality of the models.

The article discusses the software package for modeling the dynamics of cyclic automation mechanisms using the software in the SolidWorks software package and the subsequent analysis of the dynamics of both individual nodes and the entire system in the MatLab software environment.

**Keywords:** SolidWorks, MatLab, mechanical systems with non-holding connections, dynamics of cyclic automation mechanisms, mathematical modeling.

Как известно, облик нового изделия в основном определяется решениями, принимаемыми на ранних этапах проектирования. Поэтому разработка теоретических основ и методов математического моделирования для этих этапов является актуальной задачей.

К основным требованиям, предъявляемым к моделям, следует отнести адекватность и простоту. Рациональное сочетание этих свойств для конкретной модели обуславливается, по крайней мере, следующими факторами:

- особенностями проектируемых объектов;
- особенностями этапа проектирования, для которого предназначена математическая модель;
- производительностью, имеющейся в наличии вычислительной техники.

Удерживающие связи дают возможность звеньям механизмов циклической автоматики опираться друг на друга различными поверхностями в зависимости от нагрузки и состояния системы. Различные варианты опирания тел механической системы могут давать в итоге существенно отличающиеся значения обобщенных сил трения. Количество вариантов расчетных схем может быть очень велико, что для достаточно сложной механической системы приводит практически к невозможности априорного определения реализующейся при данной нагрузке расчетной схемы. Между тем, традиционные формы записи уравнений динамики механических систем с сухим трением либо вообще не учитывают такую возможность, либо позволяют учитывать лишь несколько вариантов опирания, требуя при этом введения в математическое описание некоторых дополнительных соотношений. Указанные особенности привели к необходимости обоснования и разработки машиноориентированных способов математического описания механических систем с сухим трением, учитывающих все возможные расчетные схемы и позволяющих на основе некоторых критериев определять реализующееся в данный момент при данных условиях движение механической системы.

Наличие неудерживающих связей приводит к возможности изменения числа степеней свободы механической системы в процессе ее движения. По сравнению с механическими системами, стесненными только удерживающими связями, эта особенность значительно усложняет составление математического описания и анализ динамики. Для упрощения процесса математического моделирования было разработано математическое описание динамики

механических систем, исключая необходимость отдельного рассмотрения движения системы при нахождении ее точек на связях и отдельного – при оставлении ими связей. Моменты времени, соответствующие ослаблению или напряжению связи, определяются автоматически в процессе счета на вычислительной технике. При этом изменение количества степеней свободы механической системы не вызывают изменения количества и структуры дифференциальных уравнений предлагаемого математического описания.

Математическое описание динамики механизмов циклической автоматики, учитывающее все особенности их функционирования, изложена в работах [1], [2]. Разработанный метод моделирования, который в статье [3] назван методом систем неудерживающих связей, позволяет формировать математическое описание механизма автоматики конкретного механизма циклической автоматики в целом из математических описаний его типовых элементов (кинематических пар, звеньев, задаваемых сил).

Программно метод реализован средствами пакета MatLab [1]. Существенной проблемой, возникающей при использовании программной реализации метода, является необходимость ввода большого количества исходных данных связанных, в частности, с геометрическими характеристиками поверхностей, по которым могут происходить взаимодействия звеньев, инерционные характеристики звеньев.

Современное проектирование характеризуется широким использованием CAD программ, на основе которых разрабатывается 3D модель разрабатываемого образца циклической автоматики. 3D модель содержит все необходимые для динамических расчетов геометрические характеристики поверхностей и инерционные характеристики деталей. В связи с этим целесообразно было бы найти способ перенесения указанных данных из твердотельной модели в качестве исходных в программу MatLab, предназначенную для расчетов динамики.

В основе методов передачи данных в программу математического моделирования динамики механизмов циклической автоматики с сухим трением, предлагаемых в данной статье, лежит использование программных средств, основанных на 3D моделировании механизмов циклической автоматики в пакете программ SolidWorks и последующем анализе динамики как отдельных узлов, так и всей системы целиком в программной среде MatLab благодаря включенной в его состав графической среде имитационного моделирования Simulink/SimMechanics.

В основу рассматриваемого программного комплекса моделирования динамики механизмов циклической автоматики положены возможности трансляции 3D-модели из CAD-системы (SolidWorks) в среду MatLab.

Программа Simulink является приложением к пакету MatLab. Simulink является достаточно самостоятельным инструментом MatLab и при работе с ним совсем не требуется знать сам MatLab и остальные его приложения. С другой стороны, доступ к функциям MatLab и другим его инструментам остается открытым и их можно использовать в Simulink. Часть входящих в состав пакетов имеет инструменты, встраиваемые в Simulink (например, LTI-Viewer приложения Control System Toolbox – пакета для разработки систем управления).

При работе с Simulink пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создавать свои собственные, а также составлять новые библиотеки блоков. Преимущество Simulink заключается также в том, что он позволяет пополнять библиотеки блоков с помощью подпрограмм написанных как на языке MATLAB, так и на языках C++, Fortran и Ada.

При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно общих знаний, требующихся при работе на компьютере и, естественно, знаний той предметной области в которой он работает.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Рассмотрим последовательность действий при исследовании образца циклической автоматики в среде MatLab с использованием Simulink.

Сначала строится 3D-модель исследуемого механизма в SolidWorks (рисунок 1).



Рис. 1 – Внешний вид 3D модели механизма пулемёта в SolidWorks

Вторым шагом является исключение из модели деталей, не участвующих в исследуемом процессе, которые могут увеличить время при проведении расчётов по исследуемой модели (рисунок 2).



Рис. 2 – Внешний вид 3D модели механизма пулемёта в SolidWorks после исключения элементов, не участвующих в исследовании

После подготовки модель преобразуется в xml файл и обрабатывается в среде MatLab с использованием Simulink. После исправления всех возможных ошибок, возникших при импорте xml файла. Строится схема модели механизма циклической автоматики в среде MatLab в соответствии с характером решаемой задачи (рисунок 3).

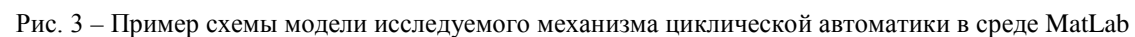


Рис. 3 – Пример схемы модели исследуемого механизма циклической автоматики в среде MatLab

После этого шага из исследуемой модели можно извлекать любые интересующие исследователя данные: приложенные сила к любой детали или узлу, а также перемещение или скорости деталей (рисунок 4).

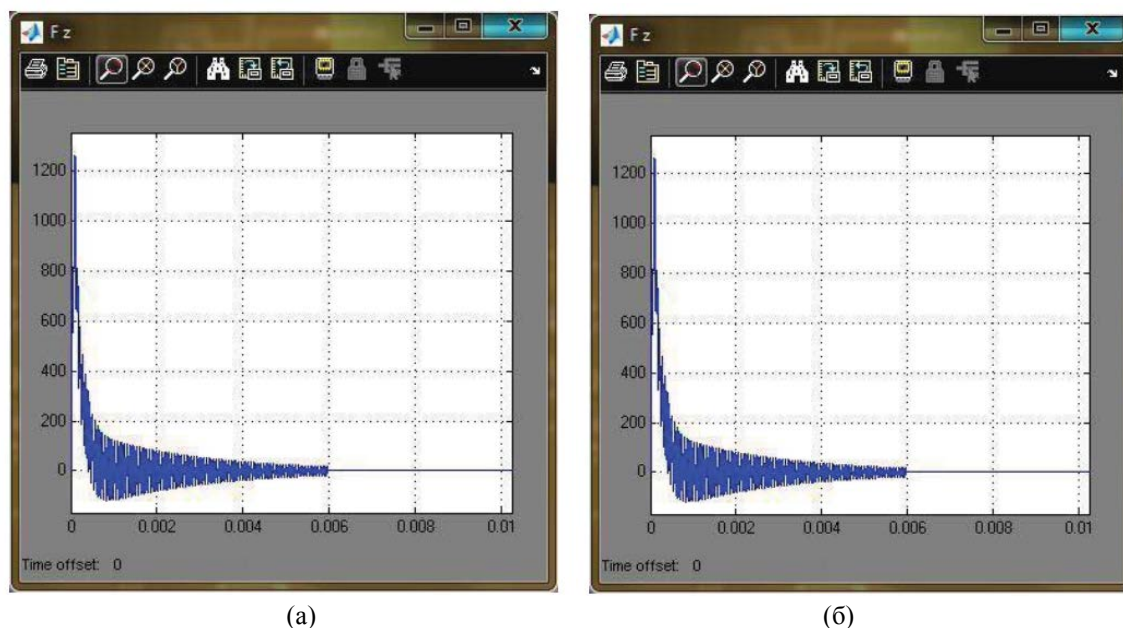


Рис. 4 – Пример выводимых данных исследуемой модели в среде MatLab;  
а – график приложенной силы, б – графики перемещений исследуемого звена

Рассмотренный программный комплекс моделирования динамики механизмов циклической автоматики позволяет выполнить наиболее полный и более точный анализ динамики механизмов с использованием унифицированной модели в среде MatLab, уточненной и параметризуемой непосредственно из CAD-системы разработки, что однозначно облегчает задачу математического описания исследуемых МС, проведения необходимых расчётов и позволяет оптимизировать процесс разработки новейших систем циклической автоматики.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Никольский В. В. Математическое моделирование динамики механизмов и механических подсистем циклической автоматики / Никольский В. В. Тула: ТулГУ, 2008. 260 с.
2. Математические модели пневмогидроэлектромеханических систем автоматического управления / Ю. Б. Подчуфаров, Г. Б. Кирик, В. В. Никольский, А. П. Матвеев, И. А. Владимиров. НТЦ «Информтехника», 1992, 272 с.
3. Никольский В. В. О некоторых общих формах уравнений движения систем с трением / Никольский В. В., Смирнов Ю. П. // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2014. Вып. 3. С. 103–115.
4. Подчуфаров Б.М. Динамика циклической автоматики / Подчуфаров Б.М. // Изв. вузов. Машиностроение. – 1961. № 8 – С. 14-22.
5. Подчуфаров Б.М. Динамика циклической машины, имеющей подвижное основание / Подчуфаров Б.М. // Изд. вузов. Машиностроение. – 1963. № 6 – С. 84-94.
6. Подчуфаров Б.М. Динамика автоматического оружия при стрельбе очередью / Подчуфаров Б.М. – 1971. – 111 с.
7. Суслов Г.К. Теоретическая механика / Суслов Г.К. – М.; Л.: Гос. изд-во тех.-теор. лит., 1944. – 656 с.
8. Кильчевский Г.К. Курс теоретической механики. В 2 т / Кильчевский Г.К. – М.: Наука, 1977.
9. Вязгин В.А. О методе последовательного анализа вариантов для решения задач проектирования динамических систем / Вязгин В.А. // Изв. АН СССР. – 1985. – № 2. – С. 31-36.
10. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний / Бидерман В.Л. – М.: Высшая школа, 1972. – 416 с.

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

1. Nikolskiy V.V. Matematicheskoe modelirovanie dinamiki mexanizmov i mexanicheskix podsystem ciklicheskoj avtomatiki [Mathematical modeling of dynamics of mechanisms and mechanical subsystems of cyclic automation] / V.V. Nikolskiy / Tula / TulGu [Tula State University] -2008 – P 260. [in Russian]
2. Matematicheskoe modelirovanie pnevmogidrodinamicheskix system avtomaticheskogo upravleniya [Mathematical models of pneumatic hydroelectromechanical automatic control systems] / U.B. Podchyfarov, G.B. Kiric, Nikolskiy V.V. et al. / NTC «Informtehnika» - 1992– P 272. [in Russian]
3. Nikolskiy V.V. O necotoryx obchix formax uravneniy dvigeniya system c treniem [On some general forms of equations of motion for systems with friction] / Nikolskiy V.V., Smirnov U.P. // Izvestiya TulGu [Tula State University] Natural science. 2014 –No 3 – P 103-115. [in Russian]
4. Podchyfarov U.B. Dinamica ciclicheskoj avtomatiki [Dynamics of cyclic automation] / Podchyfarov U.B. // Engineering. – 1961 - № 8 – P 14-22 [in Russian].

5. Podchyfarov U.B. Dinamica ciclicheskoy avtomaticheskoy mashiny, imeyushchey podvignoye osnovaniye. [Dynamics of cyclic automation of a machine with a movable base] / Podchyfarov U.B. Engineering. – 1963 - № 6 – P 84-94 [in Russian].
6. Podchyfarov U.B. Dinamica avtomaticheskogo oruzhiya pri strelbe ocheredyu. [Dynamics of automatic weapons when firing a burst] / Podchyfarov U.B. – 1971. – P 111 [in Russian].
7. Syslov G.K. Teoreticheskaya mekhanika [Theoretical mechanics] / Syslov G.K. Moscow- State publishing house. - 1944 – P 656. [in Russian].
8. Kilchevskiy G.K. Kurs teoreticheskoy mekhaniki [The course of theoretical mechanics] / Kilchevskiy G.K. Moscow – Science. - 1977 [in Russian].
9. Vyazgin V.A. O metode posledovatel'nogo analiza variantov dlya recheniya zadach proektirovaniya dinamicheskikh sistem [On the method of sequential analysis of options for solving dynamic system design problems] / Vyazgin V.A. Proceedings of the USSR Academy of Sciences. – 1985. - № 2. – P 31-36 [in Russian].
10. Binderman V.L. Prikladnaya teoriya mekhanicheskikh kolebaniy [Applied theory of mechanical vibrations] / Binderman V.L. Moscow – Higher school. – 1972. – P. 416 [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.005>

## СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Научная статья

Латухин А.Ю.<sup>1</sup>, Латухина Ю.А.<sup>2,\*</sup><sup>1,2</sup> Нижегородский государственный технический университет Дзержинский политехнический институт (филиал),  
Дзержинск, Россия

\* Корреспондирующий автор (julia[at]dzerzhinsk.ru)

## Аннотация

В статье рассматривается задача о свободных колебаниях осесимметричных оболочечных конструкций, представляющих собой произвольную композицию оболочек вращения и круговых пластин. Отдельные оболочки вращения (подконструкции) могут быть выполнены из различных изотропных линейно-упругих материалов с переменными вдоль образующей геометрическими характеристиками. В данной работе разработана методика для численного решения обобщенной проблемы на собственные значения, которая возникает при рассмотрении задач расчета на прочность оболочечных конструкций.

**Ключевые слова:** колебания, осесимметричная конструкция, тонкостенная конструкция.

## FREE OSCILLATIONS OF AXISYMMETRIC SHELL STRUCTURES

Research article

Latukhin A.Yu.<sup>1</sup>, Latukhina Yu.A.<sup>2,\*</sup><sup>1,2</sup> Nizhny Novgorod State Technical University Dzerzhinsk Polytechnic Institute (branch), Dzerzhinsk, Russia

\* Corresponding author (julia[at]dzerzhinsk.ru)

## Abstract

The paper considers the problem of free oscillations of axisymmetric shell structures, which are an arbitrary composition of shells of revolution and circular plates. Separate shells of rotation (substructure) can be made of various isotropic linearly elastic materials with variable geometric characteristics along the generatrix. In this paper, the authors have developed a technique for numerically solving a generalized eigenvalue problem that arises when considering the problems of calculating the strength of shell structures.

**Keywords:** vibrations, axisymmetric construction, thin-walled construction.

## Введение

Оболочечные конструкции, имея высокие прочностные характеристики и малый вес, широко используются в различных областях техники. Рост требований, предъявляемых к надежности оболочечных конструкций, приводят к необходимости создания методик, позволяющих решать задачи расчета на прочность, которые возникают при проектировании оболочечных конструкций.

Одной из подобных задач прочности оболочечных конструкций является задача определения параметров свободных колебаний.

Уравнения, описывающие свободные колебания тонкостенной конструкции, можно сформулировать на основе принципа виртуальной работы совместно с принципом Даламбера [2], [3], [4]:

$$\Pi = \int_V \sigma_{ij} \cdot \delta e_{ij} dV + \int_V \rho \ddot{u}_i \cdot \delta u_i dV = 0 \quad (1)$$

где  $V$  – объем тела;  $\sigma_{ij}$  – тензор напряжений;  $e_{ij}$  – тензор деформаций;  $\rho$  – плотность материала;  $u_i$  – поле перемещений, удовлетворяющее заданным кинематическим граничным условиям;  $\ddot{u}_i$  – поле ускорений;  $\delta$  – кинематически возможные вариации соответствующей величины.

Рассмотрим оболочку вращения, срединная поверхность которой образована вращением некоторой плоской кривой  $F(x)$  вокруг оси  $OX$ .

Положение точки на поверхности вращения определяется криволинейными ортогональными координатами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , отсчитываемыми соответственно вдоль меридиана и параллели. В этом случае коэффициенты Ламе  $A_1$  и  $A_2$  и главные радиусы кривизны  $R_1$  и  $R_2$  не зависят от координаты  $\alpha_2$ . Координату  $z$ , определяющую расстояние от некоторой точки оболочки до срединной поверхности, определим таким образом, чтобы система координат  $(\alpha_1, \alpha_2, z)$  образовывала правую ортогональную систему координат.

Так как оболочка вращения находится в условиях осесимметричной деформации, то все параметры напряженно-деформированного состояния не зависят от координаты  $\alpha_2$ .

Предполагается, что для оболочки вращения справедливы гипотезы Кирхгофа-Лява [7].

Тогда компоненты тангенциальной  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  и изгибной  $\ell_1$ ,  $\ell_2$  деформаций срединной поверхности оболочки вращения, находящейся в условиях осесимметричной деформации, можно записать в следующем виде [7]:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{A_1} \cdot \frac{\partial u}{\partial \alpha_1} + \frac{w}{R_1}, \varepsilon_2 = \frac{1}{A_1 \cdot A_2} \cdot \frac{dA_2}{d\alpha_1} \cdot u + \frac{w}{R_2}, \chi_1 = \frac{1}{A_1} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial \alpha_1}, \chi_2 = -\frac{1}{A_1 \cdot A_2} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha_1} + \frac{u}{R_1} \quad (2)$$

где  $u, w$  – перемещения срединной поверхности в направлении  $\alpha_1$  и  $z$  соответственно;  $\Theta$  – угол поворота нормали к срединной поверхности вокруг направления  $\alpha_2$ .

$$\Theta = -\frac{1}{A_1} \frac{\partial w}{\partial \alpha_1} + \frac{u}{R_1} \quad (3)$$

Компоненты перемещения и деформации произвольной точки оболочки, отстоящей на расстоянии  $z$  от срединной поверхности, определяются по формулам:

$$u_1 = u + \Theta \cdot z, e_{11} = \varepsilon_1 + \chi_1 \cdot z, u_3 = w, e_{22} = \varepsilon_2 + \chi_2 \cdot z. \quad (4)$$

Физические соотношения, устанавливающие связь между напряжениями и деформациями, записываются в виде [7]:

$$\sigma_{11} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (e_{11} + \nu \cdot e_{22}), \sigma_{22} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (e_{22} + \nu \cdot e_{11}), \quad (5)$$

где  $E$  – Модуль Юнга;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Введем усилия и моменты, действующие в осевом и окружном направлениях: нормальные усилия  $N_1, N_2$  и изгибающие моменты  $M_1, M_2$ . Внутренние усилия и моменты приводятся к срединной поверхности оболочки и определяются по формулам:

$$\begin{aligned} N_1 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{11} \cdot (1 + z/R_2) dz, M_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{11} \cdot (1 + z/R_2) z dz, \\ N_2 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{22} \cdot (1 + z/R_1) dz, M_2 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{22} \cdot (1 + z/R_1) z dz, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $h$  – толщина оболочки.

Используя соотношения (4) и (5), выполняя в формулах (6) интегрирование по толщине оболочки и пренебрегая членами порядка  $h/R_i$ , получаем:

$$N_1 = J_{11}\varepsilon_1 + J_{12}\varepsilon_2, M_1 = J_{33}\chi_1 + J_{34}\chi_2, N_2 = J_{21}\varepsilon_1 + J_{22}\varepsilon_2, M_2 = J_{43}\chi_1 + J_{44}\chi_2. \quad (7)$$

Коэффициенты жесткости  $J_{ij} (i, j = 1, 4)$  оболочки, определяются из выражений:

$$\begin{aligned} J_{11} &= J_{22} = \frac{Eh}{1-\nu^2}, J_{12} = J_{21} = J_{11} \cdot \nu, \\ J_{33} &= J_{44} = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, J_{34} = J_{43} = J_{33} \cdot \nu, \\ J_{13} &= J_{14} = J_{23} = J_{24} = J_{31} = J_{32} = J_{41} = J_{42} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

С учетом приведенных геометрических и физических соотношений преобразуем вклад  $n$ -й подконструкции в исходное вариационное уравнение (1).

Вариация внутренней энергии отдельной оболочки вращения, находящейся в условиях осесимметричной деформации, может быть записана в следующем виде:

$$\int_{V_n} (\sigma_{11} \cdot \delta \cdot e_{11} + \sigma_{22} \cdot \delta \cdot e_{22}) \cdot (1 + \frac{z}{R_1}) \cdot (1 + \frac{z}{R_2}) \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot d\alpha_1 \cdot d\alpha_2 \cdot dz. \quad (9)$$

Используя геометрические соотношения (4), выполняя интегрирование по толщине в выражении (9) с учетом (6) и (7), получаем

$$\int_{\Sigma_n} \{\delta \varepsilon\}^T \cdot [J] \cdot \{\varepsilon\} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot d\alpha_1 \cdot d\alpha_2, \quad (10)$$

где  $\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \chi_1 \ \chi_2\}$  – вектор деформаций срединной поверхности;  $[J]$  – квадратная матрица размерности  $4 \times 4$  с компонентами  $J_{ij}$ , выражения которых даны соотношениями (8).

В соответствии с характером деформирования оболочки, определяемыми гипотезами Кирхгофа-Лява, инерционные силы путем интегрирования по толщине могут быть приведены к системе распределенных по срединной поверхности инерционных обобщенных сил:  $\rho_n h_n \ddot{u}$ ,  $\rho_n h_n \ddot{w}$ , и  $(\rho_n h_n^3 / 12) \cdot \ddot{\Theta}$ .

Таким образом, вариация работы инерционных сил, действующих на отдельную симметрично нагруженную оболочку вращения может быть записана следующим образом:

$$\int_{\Sigma_n} \{\delta u\}^T \cdot [\rho] \cdot \{\ddot{u}\} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot d\alpha \cdot d\alpha_2, \quad (11)$$

где  $\{u\}^T = \{u \ w \ \Theta\}$  – вектор обобщенных перемещений срединной поверхности;  $\{\ddot{u}\}^T = \{\ddot{u} \ \ddot{w} \ \ddot{\Theta}\}$  – вектор обобщенных ускорений;  $[\rho]$  – диагональная квадратная матрица размером  $3 \times 3$  с компонентами  $\rho_{11} = \rho_{22} = \rho_n \cdot h_n$ ,  $\rho_{33} = \rho_n \cdot h_n^3 / 12$ .

Объединяя (10) и (11) получим вклад  $n$ -й подконструкции в исходное уравнение

$$P_n = \int_{\Sigma_n} \{\delta \varepsilon\}^T \cdot [J] \cdot \{\varepsilon\} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot d\alpha_1 \cdot d\alpha_2 + \int_{\Sigma_n} \{\delta u\}^T \cdot [\rho] \cdot \{\ddot{u}\} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot d\alpha \cdot d\alpha_2 \quad (12)$$

После этого исходное вариационное уравнение можно записать:

$$P = \sum_{n=1}^N P_n = 0, \quad (13)$$

где  $N$  – количество подконструкций, входящих в состав тонкостенной конструкции.

Дискретизация исходного вариационного уравнения (1) по пространственной переменной осуществляется на основе метода конечных элементов. Тонкостенная осесимметричная конструкция условно расчленяется на  $N$  подконструкций, которые, в свою очередь, набираются из отдельных конечных элементов.

Согласно принятой численной схеме исходное вариационное уравнение (1) может быть записано в виде:

$$P = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^S P_{ns} = 0, \quad (14)$$

где  $P_{ns}$  – вклад одного конечного элемента с индексом  $s$  подконструкции  $n$ :

$$P_{ns} = \sum_{\Sigma_{ns}} \{\delta \varepsilon\}^T [J] \cdot \{\varepsilon\} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot d\alpha_1 \cdot d\alpha_2 + \int_{\Sigma_{ns}} \{\delta u\}^T \cdot [\rho] \cdot \{\ddot{u}\} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot d\alpha \cdot d\alpha_2. \quad (15)$$

В качестве конечного элемента выбран элемент тонкой усеченной конической оболочки с линейным и кубическим законами распределения тангенциальных  $u$  и нормальных  $w$  перемещений срединной поверхности соответственно.

Этот конечный элемент имеет шесть граничных степеней свободы, удовлетворяет условиям совместности и учитывает смещения тела как жесткого целого.

В соответствии с конечно-элементной техникой дискретизации выразим вектор обобщенных перемещений срединной поверхности конечного элемента через его узловые перемещения  $\{u_j\}$ :

$$\{u\} = [x] \cdot [x_j]^{-1} \cdot \{u_j\} = [\psi] \cdot \{u_j\}, \quad (16)$$

$$\text{где } [x] = \begin{bmatrix} 1 & x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & x & x^2 & x^3 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -2x & -3x^2 \end{bmatrix}, [x_j] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l & l^2 & l^3 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -2l & -3l^2 \end{bmatrix},$$

$\{u_j\}^T = \{u_1 \ w_1 \ \Theta_1 \ u_2 \ w_2 \ \Theta_2\}$ ,  $l$  – длина образующей конечного элемента.

Аналогичным образом выражаются векторы обобщенных скоростей и ускорений срединной поверхности конечного элемента:

$$\{\dot{u}\} = [\psi] \cdot \{\dot{u}_j\}, \quad \{\ddot{u}\} = [\psi] \cdot \{\ddot{u}_j\}. \quad (17)$$

Геометрические соотношения для элемента конической оболочки получаются из зависимостей (2), если положить

$$\alpha_1 = x, \ A_1 = 1, \ R_1 = \infty, \ \alpha_2 = \alpha, \ A_2 = z, \ R_2 = z / \sin \eta.$$

Тогда с учетом (16) имеем:

$$\{\varepsilon\} = [x'] \cdot [x_j]^{-1} \cdot \{u_j\} = [B] \cdot \{u_j\}, \quad (18)$$

Где

$$[x'] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\cos \eta}{z} & -\frac{\cos \eta}{z} \cdot x & \frac{\sin \eta}{z} & \frac{\sin \eta}{z} \cdot x & \frac{\sin \eta}{z} \cdot x^2 & \frac{\sin \eta}{z} \cdot x^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & -6x \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\cos \eta}{z} & \frac{2 \cos \eta}{z} \cdot x & \frac{3 \cos \eta}{z} \cdot x^2 \end{bmatrix}.$$

Физические соотношения, устанавливающие связь внутренних усилий и моментов с деформациями срединной поверхности конечного элемента, записываются согласно (7) и (16):

$$\{N\} = [J] \cdot \{\varepsilon\} = [J] \cdot [B] \cdot \{u_j\}. \quad (19)$$

С учетом введенных конечно-элементных аппроксимаций вклад отдельного конечного элемента (1.15) в исходное вариационное уравнение (1) может быть представлен в виде:

$$\Pi_{ns} = \{\delta u_j\}^T \cdot ([\bar{m}] \cdot \{\ddot{u}_j\} + [\bar{k}] \cdot \{u_j\}),$$

где  $[\bar{m}]$ ,  $[\bar{k}]$  – матрица массы и жесткости конечного элемента:

$$[\bar{m}] = 2\pi \int_0^l [\psi]^T \cdot [\rho] \cdot [\psi] \cdot z \cdot dx, \quad (20)$$

$$[\bar{k}] = 2\pi \int_0^l [B]^T \cdot [J] \cdot [B] \cdot z \cdot dx. \quad (21)$$

При этом предполагается, что компоненты матриц  $[\rho]$ ,  $[J]$  и координата  $z$  изменяются вдоль образующей конечного элемента по линейному закону:

$$[\rho] = [\rho]_1 \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) + [\rho]_2 \cdot \frac{x}{l}, [J] = [J]_1 \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) + [J]_2 \cdot \frac{x}{l}, z = z_1 \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) + z_2 \cdot \frac{x}{l},$$

где нижний индекс у величин означает принадлежность соответствующему узлу конечного элемента.

Вычисление интегралов (20) и (21) осуществляется численно с помощью квадратурной формулы Гаусса [3,8].

Выражения (20) и (21) для матрицы массы и жесткости получены для отдельных конечных элементов, не связанных какими-либо условиями с соседними элементами. Объединение их на уровне подконструкции требует выполнения условий совместности ускорений и перемещений по границам смежных элементов. Для этого необходимо произвести переход от местной системы координат ( $Oxz$ ) к глобальной ( $OXZ$ ). Это преобразование осуществляется с помощью соотношений:

$$\{U_j\} = [\xi] \cdot \{u_j\}, \quad \{\ddot{U}_j\} = [\xi] \cdot \{\ddot{u}_j\}; \quad (22)$$

$$\text{где } [\xi] = \begin{bmatrix} \sin \eta & -\cos \eta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos \eta & \sin \eta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \eta & -\cos \eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \eta & \sin \eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

После подобного преобразования вклад отдельного конечного элемента в исходное вариационное уравнение (1) запишется в виде:

$$\Pi_{ns} = \{\delta U_j\}^T \cdot ([m] \cdot \{\ddot{U}_j\} + [k] \cdot \{U_j\}) \quad (23)$$

где  $[m]$ ,  $[k]$  – матрицы массы и жесткости конечного элемента в глобальной системе координат:

$$\begin{aligned} [m] &= [\xi]^T \cdot [\bar{m}] \cdot [\xi], \\ [k] &= [\xi]^T \cdot [\bar{k}] \cdot [\xi]. \end{aligned} \quad (24)$$

Последовательное объединение вкладов отдельных конечных элементов, входящих в состав  $n$ -й подконструкции, с учетом общих перемещений в узлах соседних элементов, а затем вкладов подконструкций с учетом общих перемещений по их границам приводит к дискретным уравнениям, описывающим свободные колебания оболочечных конструкций:

$$[M] \cdot \{\ddot{U}\} + [K] \cdot \{U\} = 0, \quad (25)$$

где  $[M]$ ,  $[K]$  – матрицы массы и жесткости конструкции;  $\{\ddot{U}\}$ ,  $\{U\}$  – векторы обобщенных узловых ускорений и перемещений конструкции.

Математически (25) представляют собой систему линейных однородных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами.

Решение системы (25) может быть записано в виде:

$$\{U\} = \{\varphi\} \cdot \sin(\omega \cdot t - t_0), \quad (26)$$

где  $\{\varphi\}$  – вектор формы свободных колебаний конструкции;  $\omega$  – угловая частота свободных колебаний;  $t$  – время;  $t_0$  – начальная фаза.

Подставляя (26) в (25), получаем обобщенную проблему на собственные значения:

$$([K] - \omega^2 [M]) \cdot \{\varphi\} = 0. \quad (27)$$

Решение задачи нахождения частот и форм свободных колебаний в заданном диапазоне частот осуществляется численно с помощью методов, основанных на делении спектра матрицы и решении характеристического уравнения, в сочетании с методом обратных итераций со сдвигом.

Численное решение обобщенной проблемы на собственные значения (27) осуществляется по следующей схеме:

1. на первом этапе определяется число собственных частот, расположенных в заданном диапазоне частот; реализация этого этапа опирается на теорему [1], [4], которая утверждает:

Если матрица  $[A] = [K] - \mu_0[M]$  допускает разложение  $[A] = [L][D][L]^T$ , где  $[L]$  – нижняя треугольная матрица с единицами на главной диагонали,  $[D]$  – диагональная матрица, то количество собственных значений, меньших  $\mu_0$ , равно числу отрицательных элементов матрицы  $[D]$ ;

2. на втором этапе производится локализация частот свободных колебаний, т.е. находятся левая и правая границы интервалов, внутри каждого из которых лежит единственная частота;

3. на третьем этапе осуществляется уточнение каждой частоты свободных колебаний  $\omega$  в рассматриваемом диапазоне частот и соответствующей ей формы колебаний  $\{\varphi\}$  с помощью метода обратных итераций со сдвигом.

### Заключение

В данной работе разработана методика для численного решения обобщенной проблемы на собственные значения. Численная методика используется для решения задачи нахождения частот и форм свободных колебаний в заданном диапазоне частот тонкостенных конструкций, представляющих собой произвольную композицию оболочек вращения в условиях осесимметричной деформации.

На модельных задачах выполнен ряд расчетов по определению параметров свободных колебаний некоторых элементов оболочечных конструкций. Сопоставление полученных результатов с имеющимися в литературе аналитическими решениями показывает их хорошее соответствие.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

- 1 Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов: Пер. с англ / Бате К., Вилсон Е. – М.: Мир, 1982. – 448 с., ил.
- 2 Новожилов В.В. Теория тонких оболочек / Новожилов В.В. – Л.: Судпромгиз, 1951. – 344с.
- 3 Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Демидович Б.П., Марон И.А. – М.: Физматгиз, 1963. – 660 с., ил.
- 4 Воеводин В.В. Матрицы и вычисления / Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 320 с.
- 5 Годунов С.К. Лекции по современным аспектам линейной алгебры / Годунов С.К. – Новосибирск: Научная книга (ИДМИ), 2002. – 216 с., ил.
- 6 Голуб Дж., Матричные вычисления: Пер. с англ / Голуб Дж., Ван Лоун Ч. – М.: Мир, 1999. – 548 с., ил.
- 7 Джордж А. Численное решение больших разреженных систем уравнений: Пер. с англ / Джордж А., Лю Дж. – М.: Мир, 1984. – 333 с., ил.
- 8 Икрамов Х.Д. Численные методы для симметричных линейных систем / Икрамов Х.Д. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 100 с.
- 9 Каханер Д. Численные методы и программное обеспечение: Пер. с англ. / Каханер Д., Моулдер К., Нэш С. – Изд. второе стереотип. – М.: Мир, 2001. – 575 с., ил.
- 10 Молчанов И.Н. Основы метода конечных элементов / Молчанов И.Н., Николаенко Л.Д. – Киев: Наук. думка, 1989. – 272 с.
- 11 Писсанецки С. Технология разреженных матриц: Пер. с англ. / Писсанецки С. – М.: Мир, 1988. – 410 с., ил.
- 12 Райс Дж. Матричные вычисления и математическое обеспечение: Пер. с англ. / Райс Дж. – М.: Мир, 1984. – 264 с., ил.

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

1. Bate K. Chislennyye metody analiza i metod konechnykh elementov [Numerical analysis methods and finite element method]: Trans. from English / Bate K., Wilson E. – M.: Mir, 1982. – 448 p., Ill. [in Russian]
2. Novozhilov V.V. Teoriya tonkikh obolochek [Theory of thin shells] / Novozhilov V.V. – L.: Sudpromgiz, 1951. – 344 p. [in Russian]
3. Demidovich B.P. Osnovy vychislitel'noy matematiki [Fundamentals of Computational Mathematics] / Demidovich B.P., Maron I.A. – M.: Fizmatgiz, 1963. – 660 p., Ill. [in Russian]
4. Voevodin V.V. Matritsy i vychisleniya [Matrices and calculations] / Voevodin V.V., Kuznetsov Yu.A. – M.: Science. Ch. Ed. Phys.-Math. lit., 1984. – 320 p. [in Russian]
5. Godunov S.K. Leksii po sovremennym aspektam lineynoy algebr [Lectures on modern aspects of linear algebra] / Godunov S.K. – Novosibirsk: Scientific Book (IDMI), 2002. – 216 p., Ill. [in Russian]
6. Golub J. Matrichnyye vychisleniya [Matrix calculations] / Golub J., Van Lone C. // Trans. from English – M.: Mir, 1999. – 548 p., Ill. [in Russian]
7. George A. Chislennoye resheniye bol'shikh razrezhenykh sistem uravneniy [Numerical solution of large sparse systems of equations]: Trans. from English / George A., Liu J. – M.: Mir, 1984. – 333 p., Ill. [in Russian]
8. Ikramov H.D. Chislennyye metody dlya simmetrichnykh lineynykh sistem [Numerical methods for symmetric linear systems]. / Ikramov H.D. – M.: Science. Ch. ed. Phys.-Math. lit., 1988. – 100 p. [in Russian]
9. Kahaner D. Chislennyye metody i programmnoye obespecheniye [Numerical methods and software] Trans. from English – 2<sup>nd</sup> Ed. / Kahaner D., Mowler K., Nash S. – M.: Mir, 2001. – 575 p., Ill. [in Russian]
10. Molchanov I.N. Osnovy metoda konechnykh elementov [Fundamentals of finite element method] / Molchanov I.N., Nikolaenko L.D. – Kiev: Nauk. Dumka, 1989. – 272 p. [in Russian]
11. Pissanetski S. Tekhnologiya razrezhenykh matrits [Technology of sparse matrices]: Trans. from English / Pissanetski S. – M.: Mir, 1988. – 410 p., Ill. [in Russian]
12. Rice J. Matrichnyye vychisleniya i matematicheskoye obespecheniye [Matrix calculations and software]: Per. from English / Rice J. – M.: Mir, 1984. – 264 p., Ill. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.006>

# НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА. ТЕОРИЯ ПОЛЯ И ВАРИАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ

## Обзор

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

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

### Аннотация

В данной статье предлагается общий теоретический обзор понятий неравновесной термодинамики с точки зрения основных постулатов классической теории поля и ее вариационных принципов. Рассматривается линейная термодинамика Л. Онзагера и его принцип наименьшего рассеивания энергии. Особое внимание уделяется и другой формулировке этого принципа, сформулированного И. Дьярмати, в пространстве сил при постоянстве потоков для локального функционала. А также заостряется внимание на принципе минимума производства энтропии Пригожина.

**Ключевые слова:** теория поля, непрерывные системы, феноменологические уравнения, потенциалы рассеяния в энтропийном представлении.

# NONEQUILIBRIUM THERMODYNAMICS. FIELD THEORY AND VARIATIONAL PRINCIPLES

## Review

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

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

### Abstract

The article offers a general theoretical review of the concepts of nonequilibrium thermodynamics from the basic postulates of the classical field theory and its variational principles. Onsager's linear thermodynamics and its principle of least energy dissipation are considered in the paper. Particular attention is paid to another formulation of this principle, formulated by I. Gyarmati, in the space of forces with constant flows for a local functional. The authors also focus on the principle of minimum production of Prigogin's entropy.

**Keywords:** field theory, continuous systems, phenomenological equations, scattering potentials in the entropy representation.

Первый закон термодинамики или закон сохранения и превращения энергии утверждает, что тепло  $\delta Q$ , подводимое к системе, расходуется на совершение работы системой  $\delta L$  над внешними телами и на изменение внутренней энергии системы  $\delta U$ :

$$\delta Q = \delta L + \delta U. \quad (1)$$

Второй закон термодинамики говорит о том, что у всякой равновесной термодинамической системы существует однозначная функция описания состояния –  $S$  (энтропия):

$$TdS = \delta Q, \quad (2)$$

где  $T$  – это температура.

Что же касается неравновесных процессов в изолированной системе, то здесь второе начало термодинамики утверждает о невозможности уменьшения энтропии.

Большинство встречающихся в мире систем являются термодинамически неравновесными. Для того, чтобы использовать соотношение типа (2) вводится такой принцип, как локальное равновесие. Последний постулирует о сохранении условия равновесия в элементарных объемах системы при переходе её во всем масштабе от равновесного к неравновесному состоянию. Т.е. предполагается справедливость уравнения Гиббса в локальной форме:

$$Td_t s = d_t u - p d_t v - \sum_{k=1}^n \mu_k d_t c_k, \quad (3)$$

где  $d_t$ - оператор полной производной по времени,

$$s = \frac{S}{m}, \quad u = \frac{U}{m}, \quad v = \frac{V}{m}, \quad c_k = \frac{m_k}{m},$$

$$p_k = \frac{m_k}{V}, \quad m = \sum_{k=1}^n m_k, \quad p = \sum_{k=1}^n p_k, \quad 1 = \sum_{k=1}^n c_k$$

где  $s, u, v$  – удельная энтропия, внутренняя энергия и объем,  $m, p$  – масса и плотность системы,  $c_k, p_k, m_k$  – удельная массовая концентрация, плотность и масса  $k$ -ого элемента  $n$ -компонентной системы, а также интенсивные величины:  $T, p, \mu_k$  – температура, давление и химический потенциал  $k$ -ого элемента.

При наличии в системе релаксационных процессов соотношение Гиббса нужно дополнить. Пусть в каждой точке системы происходит  $l$  химических реакций, тогда

$$\sum_{k=1}^i v'_{ki} m_k = \sum_{k=j+1}^n v'_{ki} m_k \quad (i = 1, 2, 3 \dots, l),$$

где  $v'_{ki}$  – стехиометрический коэффициент  $k$ -ого элемента системы в  $i$ -й реакции [2], при этом  $v'_{ki}$  положителен в правой части уравнения и отрицателен в левой.

В каждой  $i$ -й реакции выполняется закон сохранения массы:

$$\sum_{k=1}^n v'_{ki} m_k = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, l).$$

В этой связи вводится новый коэффициент  $v_{ki}$ , который упрощает запись локальных скоростей химических реакции в непрерывной системе:

$$v_{ki} = \frac{v'_{ki} m_k}{\sum_{k=j+1}^n v'_{ki} m_k}.$$

В духе принципа локального равновесия термодинамику неравновесных процессов можно рассматривать как полевую теорию и формулировать для нее законы сохранения. При этом стоит выделить два класса термодинамических систем – непрерывные и прерывные. К первому классу можно отнести системы, в которых переменные, определяющие их состояния, являются непрерывными функциями пространственных координат и времени. Второй класс состоит из нескольких подсистем, разделенных естественной и искусственной границей. Параметры состояния системы определяются только временем. Переход от одной подсистемы в другую происходит скачком.

Для непрерывных систем законы сохранения, представленный в виде локальных и субстанциональных форм, записываются в след. виде:

Баланс масс:

$$\begin{aligned} \partial_t p_k + \nabla p_k v_k &= \sum_{i=1}^l v_{ki} \omega_i, \\ p d_t c_k + \nabla J_k &= \sum_{i=1}^l v_{ki} \omega_i, \\ &(k=1, 2, 3 \dots, n) \\ \omega_k &= v_k - v, J_k = \rho_k \omega_k = \rho_k (v_k - v), \\ v &= p^{-1} \sum_{k=1}^n p_k v_k, \sum_{k=1}^n J_k = 0, \end{aligned}$$

$$p d_t + p \nabla v = 0.$$

Баланс заряда:

$$\partial_t(pq) + \nabla I = 0, \quad d_t pq + \nabla j = 0,$$

$$q \equiv p^{-1} \sum_{k=1}^n p_k q_k, \quad I = pqv + j, \quad j \equiv \sum_{k=1}^n q_k J_k.$$

Баланс импульса:

$$\partial_t(pv) + \nabla(pvv + \mathbf{P}) = \sum_{k=1}^n p_k \mathbf{F}_k,$$

$$pd_t c_k + \nabla P = \sum_{k=1}^n p_k F_k,$$

$$\mathbf{F}_k = q_k(\mathbf{E} + c^{-1}[v_k \mathbf{B}]) + g + \omega^2 r + 2[v_k \mathbf{w}]$$

$$\mathbf{P} = p\mathbf{U} + \Phi.$$

Баланс внутренней энергии:

$$\partial_t(pu) + \nabla(pvv + J_Q) = W, \quad pd_t u + \nabla J_Q = W,$$

$$W \equiv -\mathbf{P} : \nabla v + \sum_{k=1}^n J_k F_k.$$

Баланс энтропии:

$$\partial_t(ps) + \nabla(psv + J_B) = \theta \gg 0, \quad pd_t s + \nabla J_B = \theta \gg 0;$$

- в этих уравнениях  $q_k, v_k, J_k$  – заряд ед. массы, скорость и диффузионный поток  $k$ -ого компонента системы;  $p$  – давление;  $q$  – полный заряд ед. массы;  $J_Q, J_B$  – потоки тепла и энтропии;  $v$  – скорость центра масс;  $\Phi$  – тензор давления;  $\mathbf{F}_k$  – вектор внешних сил, действующих на ед. массы  $k$ -ого компонента системы;  $j, I$  – диффузионный и полные эл. поля;  $\mathbf{B}$  – вектор магнитной индукции;  $r$  – радиус-вектор;  $g$  – ускорение свобод. падения;  $\omega$  – угловая скорость системы;  $\mathbf{E}$  – вектор напряжения эл. поля;  $W$  – источник внутренней энергии;  $\theta$  – локальное производство;  $\partial_t$  – оператор частной производной по времени  $t$  [1].

Построение формы баланса энтропии для конкретных термодинамических систем достигается подстановкой вышеперечисленных законов сохранения в соотношение Гиббса (3).

$$J_k = T^{-1} J_Q - T^{-1} \sum_{k=1}^n \mu_k J_k \leq 0$$

$$\theta = -T^{-2} J_Q \nabla T - \sum_{k=1}^n J_k \nabla \left( \frac{\mu_k}{T} \right) - T^{-1} \Phi : \nabla v - T^{-1} \sum_{i=1}^l A_i d_t \varepsilon_i + T^{-1} \sum_{k=1}^n J_k \{ q_k (\mathbf{E} + c^{-1}[v_k \mathbf{B}]) + g + \omega^2 r + 2[v_k \omega] \}$$

В представлении обобщенных потоков  $J_j$  и обобщенных сил  $X_j$  производство энтропии имеет вид билинейной формы:

$$\theta = \sum_{j=1}^m J_j(\cdot) X_j \geq 0 \quad (4)$$

где  $m$  – число потоков (сил);  $(\cdot)$  –  $q$ -кратная свертка;  $q$  – ранг тензорной величины.  
Энергетическое  $\psi$  описание рассеивания в необратимых процессах:

$$\psi \equiv T \theta = \sum_{j=1}^m J'_j(\cdot) X'_j \quad (5)$$

где  $\psi$  – диссипативная функция

При условии термодинамического равновесия все силы и потоки, а также производство энтропии превращаются в нуль. В следствие с этим, при незначительном удалении от равновесия используется гипотеза Онзагера, которая устанавливает линейную связь между потоками и силами:

$$J_k = \sum_{j=1}^m L_{kj}(\cdot) X_j \quad (k = 1, 2, 3 \dots, n) \quad (6)$$

где  $J_k, X_k$  – это обобщенные потоки и силы любой тензорной валентности;  $m$  – число независимых сил и потоков;  $L_{kj}$  – тензор, декартовы компоненты которого называются феноменологическими либо кинетическими коэффициентами, либо коэффициент Онзагера.

А сами соотношения (6) называются феноменологическими уравнениями или линейными уравнениями Онзагера. Они соответствуют энтропийному представлению процессов рассеивания (4).

В энергетическом представлении (5) новые феноменологические коэффициенты  $L_{kj}^*$  связаны с коэффициентом  $L_{kj}$  соотношениями:

$$L_{kj} = T^{-1} L_{kj}^* \quad (7)$$

Пользуясь законом (6), можно представить энтропии  $\theta$  и диссипативную функцию  $\psi$  как некоторые квадратичные формы обобщенных сил [1]:

$$\psi = \sum_{k,j=1}^m L_{kj}^* X_k^* X_j^* \geq 0$$

и

$$\theta = \sum_{k,j=1}^m L_{kj} X_k X_j \geq 0.$$

В 1931-1932 году Онзагер устанавливает важную линейную связь между кинетическими коэффициентами в отсутствие внешнего магнитного поля и вращения системы в целом в виде [2]:

$$L_{ik} = L_{ki}. \quad (8)$$

Соотношения (6) и (8) составляют основу линейной термодинамики. Необходимо учитывать только то, что они справедливы в случае небольших термодинамических сил (в этом случае связь между термодинамическими потоками и силами можно считать линейной). Несмотря на то, что круг задач, решаемый с помощью этого простого формализма, является достаточно широким, встречаются примеры, где расчет с использованием соотношений (6) и (8) бывает некорректным [2].

В 1931 году Л. Онзагер предлагает вариационный принцип, из которого могут быть получены соотношения (6) и (8). Этот принцип, названный принципом наименьшего рассеивания энергии, утверждает экстремальность некоторого локального функционала, записанного в представлении варьируемых потоков  $J$  при постоянстве термодинамических сил  $X$  в виде [2]:

$$\delta\{\theta(J, X) - \Phi(J, J)\}_X = 0 \quad \delta J \neq 0, \quad (9)$$

где  $\Phi(J, J)$  – потенциал рассеяния в энтропийном представлении, выраженный через потоки:

$$\Phi(J, J) = \frac{1}{2} \sum_{i,k=1} L_{kj}^{-1} J_i J_k \geq 0 \quad (\text{где } \Phi > 0) \quad (10)$$

А  $G(X, X)$  – локальный потенциал рассеяния в энтропийном представлении, выраженный и через силы:

$$G(X, X) = \frac{1}{2} \sum_{k,j=1}^m L_{kj} X_k X_j \geq 0 \quad (11)$$

В энергетическом представлении  $G^* = TG$ ,  $\Phi^* = T\Phi$ .

С учетом (4), (9) варьируя по потокам, условие (10) можно представить в ином виде:

$$\delta(\theta - G)_X = \sum_{k=1}^m \left( X_k - \frac{\partial \Phi}{\partial J_k} \right) \delta J_k = 0, \quad (\text{где } \delta J_k \neq 0) \quad (12)$$

Вариационный принцип Онзагера сформулирован в пространстве термодинамических потоков. Другая формулировка этого принципа в пространстве сил при постоянстве потоков для локального функционала была дана И. Дьярмати [1].

$$\delta(\theta - \sigma)_J = \sum_{k=1}^m \left( J_k - \frac{\partial \sigma}{\partial x_k} \right) \delta x_k = 0, \quad \delta x_k \neq 0 \quad (13)$$

Две эти альтернативные формы принципа наименьшего рассеяния энергии вскоре были объединены Дьярмати в одно вариационное условие:

$$\delta\{\theta - \Phi - G\} = 0 \quad (14)$$

где варьирование в равной мере происходит и по потокам, и по силам [1].

$$\delta\{\theta - \Phi - G\}_x = \sum_{k=1}^m \left( X_k - \frac{\partial \Phi}{\partial J_k} \right) \delta J_k = 0,$$

$$L_{kj}^{-1} = L_{jk}^{-1}.$$

$$\delta\{\theta - \Phi - G\}_J = \sum_{k=1}^m \left( J_k - \frac{\partial \sigma}{\partial x_k} \right) \delta x_k = 0,$$

$$L_{ik} = L_{ki}.$$

Запись является другой, если потенциалы рассеяния (10) и (11) заменены энергетическим представлением  $G^* = TG$ ,  $\Phi^* = T\Phi$ , а вместо производства энтропии  $\theta$  взята диссипативная функция  $\psi = T\theta$ .

Дьярмати была также представлена интегральная форма для континуума в виде [1]:

$$\delta \int_V (P\dot{s} + \nabla J_s - G - \Phi) dV = \delta \int_V (\theta - G - \Phi) dV = 0. \quad (15)$$

При рассмотрении необратимых процессов в адиабатически изолированных системах, когда  $\int_V \nabla J_s dV = 0$  и  $\int_V P\dot{s} dV = \int_V \theta dV$ , форма интегрального принципа представляется в следующем виде [1]:

$$\int_V (\theta - G - \Phi) dV = \int_V (P\dot{s} - G - \Phi) dV = \max.$$

Независимо от принципа Онзагера для стационарных процессов был установлен новый принцип, называющийся принципом минимума производства энтропии. Первая формулировка для прерывных систем принадлежит Пригожину и известна в виде следующей теоремы [3]: если система поддерживается в состоянии с постоянными силами  $X_1, X_2, \dots, X_k$  ( $k < m$ ), то минимальное производство энтропии:

$$\theta = \min \quad \delta\theta = 0 \quad (16)$$

В случае непрерывных систем принцип Пригожина дается как обобщение (16):

$$\int_V \theta dV \int_V \sum_{k=1}^m J_k X_k dV = \min, \quad \delta \int_V \theta dV = 0. \quad (17)$$

Из этого следует, что производство энтропии обладает экстремальным свойством в стационарных состояниях системы, вызванных граничными условиями. Предельным случаем стационарных состояний является равновесное состояние системы, где производство энтропии равно нулю, а энтропия максимальна.

Сравнивая формулировки принципов минимального производства энтропии и наименьшего рассеяния энергии, Дьярмати нашел между ними связь. Более того, он нашел, что принцип Пригожина является лишь эквивалентной формой принципа Онзагера на основе энтропийных представлений [2].

Рассмотрим открытые системы, находящиеся в сильно неравновесных состояниях. В них могут возникать такие структуры, которые способны к спонтанной самоорганизации, т.е. к самопроизвольному переходу от беспорядка и хаоса к упорядоченным состояниям. Пригожин назвал эти структуры диссипативными.

Примеры самоорганизации можно зафиксировать в природных и социокультурных системах. В системах неживой природы к примерам самоорганизации можно отнести: переход ламинарного течения в турбулентное, временную и пространственную упорядоченность в химических реакциях, ячейки Бенара и т. п.

Рассмотрим образование ячеек Бенара в жидкости. Если нагревать при небольших градиентах температуры не слишком толстый слой вязкой жидкости, то до определенного момента передача тепла от нижнего слоя жидкости к верхнему обеспечивается только с помощью теплопроводности [8]. Однако при достижении критической разности температур нижнего и верхнего слоев система выходит из равновесия. Появляется конвекционный поток, имеющий структуру в форме правильных шестиугольных призм (конвективных ячеек). Так как система производит обмен со средой только теплом и в стационарных условиях получает такое же количество тепла, что и отдает, то можно сделать вывод, что система отдает энтропию среде, т. е. самоорганизация возникает за счет поглощения отрицательной энтропии. Стоит отметить, что подобные конвективные ячейки могут образовываться и в атмосфере, если отсутствует горизонтальный перепад давления.

В живой природе примером самоорганизации может служить первый этап создания термитами термитника [9]. На начальных этапах строительства наземного жилища термиты разбрасывают материал (частицы земли) в хаотическом порядке, опрыскивая их при этом гормоном, который привлекает внимание других термитов. Вскоре число насекомых в данной точке увеличивается и вероятность сброса в этой области частичек земли растет. Так и возникают опорные стены термитника на первом этапе.

Попытки объяснения самоорганизации не обошлись стороной и в социальных сферах. Так в своих работах Адам Смит уделяет особое внимание проблемам соотношения личных и общественных интересов. По мнению мыслителя, спонтанный порядок на рынке возникает в результате взаимодействия противоположных целей и интересов участников. Его принцип «невидимой руки», гласящий об ответственности за то, чтобы конечный результат от эгоистических действий каждого индивида был полезен всему обществу в целом, и является выражением самоорганизации.

### **Заключение**

Таким образом, исходя из проделанной работы, можно сделать вывод о том, что:

1) перевод неравновесной термодинамики на язык теории поля был необходим решением, так как многие физики только недавно стали понимать сущность необратимой термодинамики и возможность ее применения. Такой перевод был выполнен венгерским физиком Дьярмати, который сформулировал новый вариационный принцип.

2) Термодинамическая формулировка этого принципа восходит к работам Л. Онзагера и Пригожина. Дьярмати объединил принципы наименьшего рассеяния и наименьшего производства энтропии, и применил этот принцип к ряду задач.

3) Вариационный принцип благодаря своей простоте и физической очевидности используют многие ученые.

4) Излагая неравновесную термодинамику на языке теории поля, Дьярмати в своем принципе открывает пути для решения любых задач в линейных приближениях.

Следует также отметить, что среди всех научных дисциплин основное достоинство неравновесной термодинамики заключается в универсальности ее выводов, которые не привязаны к каким-либо конкретным системам. Это обстоятельство позволяет применять неравновесную термодинамику для анализа самых разных объектов живой и неживой природы, включая социальную сферу.

### **Конфликт интересов**

Не указан.

### **Conflict of Interest**

None declared.

### **Список литературы / References**

1. Дьярмати И. Неравновесная термодинамика. Теория поля и вариационные принципы / Дьярмати И. – М.: Мир, 1974. – 304 с.
2. Журавлев В.А. Термодинамика необратимых процессов в задачах и решениях. / Журавлев В.А. – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 1998. – 151 с.
3. Пригожин. И. Введение в термодинамику необратимых процессов. / Пригожин. И – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960. – 160 с.
4. Био М. Вариационные принципы в теории теплообмена / Био М. – М.: Энергия, 1975. – 209 с.
5. Де Гроот С.Р. Термодинамика необратимых процессов. / Де Гроот С.Р. – М.: Гос. Изд.-во техн.-теор. лит., 1956. – 280 с.
6. Зубарев Д. П. Неравновесная статистическая термодинамика. / Зубарев Д. П. – М.: Наука, 1971. – 414 с.
7. Новик А. Релаксационные явления в кристаллах. / Новик А., Берри Б. – М. Атомиздат, 1975 – 472 с.
8. Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Часть 2 / Осипов А.И. // Соросовский Образовательный Журнал. – М.: 1999. – № 5. – С. 91-97.
9. Кочергин А.Н. Процессы самоорганизации в природных, социальных и когнитивных системах / А.Н. Кочергин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. - № 203. -С. 36-42.

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

1. Gyarmati I. Neravnovesnaya termodinamika. Teoriya polya i variatsionnyye printsipy [Non-equilibrium thermodynamics. Field theory and variational principles] / I. Gyarmati – М.:Mir, 1974. – 304 p. [in Russian]
2. Zhuravlev V.A. Termodinamika neobratimyykh protsessov v zadachakh i resheniyakh. [Thermodynamics of irreversible processes in problems and solutions] / V.A. Zhuravlev – Izhevsk.: Publishing House «Udmurt University», 1998. – 151 p. [in Russian]
3. Prigogine. I. Vvedeniye v termodinamiku neobratimyykh protsessov [Introduction to the thermodynamics of irreversible processes] / I. Prigogine – М.: Publishing house of foreign literature, 1960. – 160 p. [in Russian]

4. Bio M. Variatsionnyye printsipy v teorii teploobmena [Variational principles in the theory of heat transfer]/ M. Bio – M.: Energy, 1975. – 209 p. [in Russian]
5. Groot S. R. Termodinamika neobratimyykh protsessov [Thermodynamics of irreversible processes] S. R. Groot – M.: State Publishing House of Technical and Theoretical Literature., 1956. – 280 p. [in Russian]
6. Zubarev D.P. Neravnovesnaya statisticheskaya termoddinamika [Nonequilibrium statistical thermodynamics]/ D. P. Zubarev – M.: Nauka, 1971. – 414 p. [in Russian]
7. Novik A. Relaksatsionnyye yavleniya v kristallakh [Relaxation phenomena in crystals] / A. Novik, B. Berry – M.: Atomizdat, 1975. – 472 p. [in Russian]
8. Osipov A.I. Termodinamika vchera, segodnja, zavtra [Thermodynamics of yesterday, today and tomorrow]. Chast' 2 / A.I. Osipov // Sorosovskij Obrazovatel'nyj Zhurnal [Soros Educational Journal] – 1999. – № 5. – P. 91-97. [In Russian]
9. Kochergin A.N. Protsessy samoorganizatsii v prirodnykh, sotsial'nykh i kognitivnykh sistemakh [Processes of self-organization in natural, social and cognitive systems.] / A.N. Kochergin // Civil Aviation High Technologies. –2014. – № 203.– P. 36-42. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.007>

## ОБЗОР МЕТОДИК РАСЧЁТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

Обзор

Пернебеков С.С.<sup>1,\*</sup>, Тортбаева Д.Р.<sup>2</sup>, Маханбетжанов М.Н.<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Южно-Казахстанский государственный университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Республика Казахстан

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

### Аннотация

В статье рассмотрены основные методики расчета пропускной способности улично-дорожной сети города на примере города Шымкента Республики Казахстан. Так как планировочные особенности, а также геометрические параметры улично-дорожной сети населенных пунктов, особенно городов, оказывают существенное влияние на основные характеристики автотранспортных потоков, проанализированы преимущества и недостатки существующих методик расчета основных показателей пропускной способности улично-дорожной сети.

**Ключевые слова:** пропускная способность, улично-дорожная сеть, городские магистрали, перегоны улиц, транспортный поток, интенсивность.

## OVERVIEW OF METHODS FOR CALCULATING THE CAPACITY OF CITY STREETS

Review

Pernebekov S.S.<sup>1,\*</sup>, Tortbayeva D.R.<sup>2</sup>, Makhanbetzhanov M.N.<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

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

### Abstract

The article discusses the basic methods for calculating the throughput of the city's road network using the example of the city of Shymkent of the Republic of Kazakhstan. Since the planning features, as well as the geometric parameters of the road network of settlements, especially cities, have a significant impact on the main characteristics of traffic flows, the advantages and disadvantages of existing methods for calculating the main indicators of the capacity of the road network are analyzed.

**Keywords:** traffic capacity, road network, city highways, street hauls, traffic flow, intensity.

For the Republic of Kazakhstan, the problem of increasing the capacity of city roads and increasing the speed of communication has acquired a nationwide scale, and its solution relates to the priorities of the state socio-economic policy. An increase in the motorization of the population of Kazakhstan to 6-10% per year led to a decrease in the average speed of traffic flows to 12-22 km/h, with an optimal 30-35 km/h. The time spent on transportation increased by 25-50%, fuel consumption increased to 25-30%, the number of road accidents increases annually and the environment worsens. The current situation has led to a decrease in the quality and reliability of the functioning of the transport systems of large cities, a decrease in the efficiency of all city services. In the context of a budget deficit, it is important to increase the effectiveness of measures to increase the throughput of city highways in the shortest possible time with minimal cash costs.

The concept of the capacity of urban highways of regulated traffic can be divided into three: normative, calculated and practical. The practical throughput can be of two types: maximum, observed on the reference area, and practical in specific road conditions.

In the same «Guidelines for the Design of City Streets and Roads» the values of the «practical» traffic capacity of streets with different widths of carriageways with gradation of speeds from 20 to 30 km/h and 50 km/h are given, which is too small for main streets. The lane capacity on two and three-lane roads ranges from 500 to 715, and on four and six-lane roads, from 1200 to 1485 powered cars per hour.

At the end of the 1950s, the Bureau of Public Roads recommended accepting the values of the practical throughput of one lane in one direction for a city two-lane road of 750 cars per hour; for a three-lane, up to 1200 cars per hour, and for a multi-lane, up to 1500 cars per hour, respectively, at speeds of about 48 km/h.

The «Highway Bandwidth Determination Guide» provides calculation formulas for determining the bandwidth of one lane, calculated by the safety distance between moving cars. The practical lane capacity is recommended to take 1,500 powered cars per hour for urban traffic conditions.

The «Construction Standards and Rules II-60-75» provide data on the largest number of homogeneous physical units of transport per hour, depending on the category of main streets and roads and the type of intersection. It is unclear why the throughput by means of transport is given, since there are no «pure» flows of only trucks or buses, especially trolleybuses (table 1).

In the latest norms of urban planning and development (Building norms and rules 2.07.01-89), as well as in the «Recommendations for the design of streets and roads of cities and rural settlements», they refused to determine the throughput, which cannot be considered appropriate, so how designers should now focus on their knowledge of bandwidth calculation. The use of various formulas of domestic or foreign authors will lead to a very large scatter in the values of the throughput of highways.

Table 1 – The throughput of one lane of the carriageway of streets and roads

Vehicles	The greatest number of homogeneous physical units of transport in 1 hour		
	at intersections at different levels		when crossing at the same level
	on highways	on the main streets of continuous traffic	
Cars	1200-1500	1000-1200	600-700
Trucks	600-800	500-650	300-400
Buses	200-300	150-250	100-150

In the norms of design planning and development Departmental building norms 2-85 and the norms are proposed throughput capacity to receive 750-850 powered cars. In the guide to the design of city streets and roads (hereinafter referred to as the guide), it is recommended to determine pre-throughput in the same way. The capacity of the main network of streets and roads of regulated traffic is determined in the section of the stop line. The carrying capacity of the carriageway of streets and roads of regulated traffic on the stage is not determined.

G.I. Klinkovshtein, M.B. Afanasyev, L.V. Bulavina, K.L. Hoang, E.M. Lobanov, A.E. Gorev, S.A. Azemsha, V.A. Markovtsev, D.V. Rozhansky, I.N. Pugachev, M.S. Fishelson, S.M. Khrapova and others. Some researchers adhered to the guidelines and recommended defining the throughput of city highways as the intersection throughput. Others adhered to the guidelines and proposed the introduction of a reduction factor, reflecting the influence of the length of the haul and the traffic light control mode on the throughput of highways.

Various authors provide different data on the speed at which the maximum bandwidth in the middle of the haul is observed. According to S.G.Pisarev, a maximum of 1480 units are achieved at a speed of 21 km/h.

Modern studies of the throughput of city highways of the authors of the first group (E.M.Lobanova, L.V.Bulavina, A.E.Goreva, S.M.Khrapova) are based on its determination in the cross-section of the intersection stop-line, since in urban conditions the main the limiting factor for road capacity is intersections.

The traffic capacity of the carriageway is defined as the sum of the bandwidths of individual lanes. According to the Industry Road Methodology 218.2.020-2012, the term «lane group» is introduced to determine the capacity of a controlled intersection, which means one or more lanes of the approach. The throughput is determined depending on the presence of conflicts between the group flow and other flows and their traffic intensity, the width of the traffic lanes and the fraction of the effective phase duration of the total cycle duration.

The authors of the second group adhere to the guidelines and propose to determine the throughput of one lane of the multilane highway lane taking into account the influence of the regulated intersection.

M.S. Fishelson, unlike L.V. Bulavina and Yu.A. Kremenets, suggests that some cars pass the intersection without delay and spend time  $T$ , and some cars are delayed, spending additional time on braking, waiting for an enable signal and subsequent acceleration.

Determining the actual throughput is possible only on existing roads and in the prevailing traffic conditions. Actual throughput is also called practical.

A done review of literary sources on this topic allows us to identify the main parameters that determine the throughput of city highways. The first group of authors propose to determine the throughput of a stage in its most problematic section (cross-section of a stop line of an intersection) depending on the number of traffic lanes for the duration of the traffic light cycle and the duration of the resolution signal of the traffic light. The second group of authors consider the stage as an integral element of the road network and recommend that, in addition to the parameters of traffic lights, the length of the stage be taken into account.

It has been established that in conditions of dense traffic flows the length of the haul is one of the main factors determining the operation of the haul. The insufficient length of the haul is the cause of congestion in the case when it is less than the length of the zone of influence of intersections. Using existing methods for calculating the throughput leads to overestimated values of the load factor. The error in calculating the load factor of the authors of the first group is up to 40%, the authors of the second group on hauls longer than 300 meters - up to 30%.

To develop measures to increase throughput, it is necessary to establish the main factors that determine the modes of movement on the hauls of city highways.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Васильев А.П. Управление движением на автомобильных дорогах [Текст] / А.П.Васильев, М.И.Фримштейн. – М.: Транспорт, 1979. – 296 с.
2. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими [Текст] / Д.Дрю. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
3. Клинковштейн, Г. И. Организация дорожного движения [Текст] / Г.И.Клинковштейн, М.Б.Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.

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

1. Vasil'yev A.P. Upravleniye dvizheniyem na avtomobil'nykh dorogakh [Traffic control on highways] / A.P.Vasil'yev, M.I.Frimshhteyn. – М.: Transport, 1979. – 296 p. [in Russian]
2. Dryu, D. Teoriya transportnykh potokov i upravleniye imi [The theory of traffic flows and their management] / D.Dryu. – М.: Transport, 1972. – 424 p. [in Russian]
3. Klinkovshhteyn, G. I. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya [Organization of traffic] / G.I.Klinkovshhteyn, M.B.Afanasyev. – М.: Transport, 2001. – 247 p. [in Russian]

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОРМОВЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА**

Научная статья

**Серекпаев Н.<sup>1</sup>, Стыбаев Г.<sup>2</sup>, Байтеленова А.<sup>3,\*</sup>, Муханов Н.<sup>4</sup>, Курбанбаев А.<sup>5</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, Нур-Султан, Республика Казахстан

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

**Аннотация**

В статье представлены результаты исследований влияния сроков посева на химический состав и пищевую ценность новой нетрадиционной культуры куриного проса в сухой степной зоне Центрального Казахстана. В работе дана сравнительная оценка химического состава и пищевой ценности зеленой массы растительности на разных фазах развития. По полученному химическому составу по результатам исследований, лучший период для посева куриного проса – первая декада июня, с самым высоким содержанием химических веществ и питательных веществ, упомянутых на стадии цветения: сырого белка – 10,59%, каротина – 25,07%, золы – 9,9%, уровня сахара – 12,2, каротина – 21,38 мг / кг.

**Ключевые слова:** введение, куриное просо, корм, белок, силос, сахар.**COMPARATIVE ASSESSMENT OF CHEMICAL COMPOSITION OF FORAGE CROPS DEPENDING ON CULTIVATION IN THE CONDITIONS OF CENTRAL KAZAKHSTAN**

Research article

**Serekpayev N.<sup>1</sup>, Stybayev G.<sup>2</sup>, Baitelenova A.<sup>3,\*</sup>, Mukhanov N.<sup>4</sup>, Kurbanbayev A.<sup>5</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> S.Seifullin Kazakh agrotechnical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

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

**Abstract**

This article presents the results of studies of the effect of sowing dates on chemical composition and nutritional value of the new, non-traditional culture barnyard millet in a dry steppe zone of Central Kazakhstan. The comparative evaluation of the chemical composition and nutritional value of green mass of vegetation on barnyard millet phases. As a result of the research, the best period for sowing barnyard millet, according to the resulting chemical composition - the first decade of June, with the highest content of chemicals and nutrients mentioned in the flowering stage: of crude protein - 10.59%, carotene - 25.07%, of ash - 9.9%, sugar levels - 12.2, carotene is - 21.38 mg/kg.

**Keywords:** introduction, barnyard millet, forage, protein, silage, sugar.**Introduction**

Increasing the productivity of animals is necessary to ensure the population of livestock products in sufficient quantity. High productivity of farm animals can be achieved by improving the genetic potential and high level of complete and balanced feeding of farm animals. As a result of the introduction of new fodder crop barnyard millet in the dry steppe zone of Central Kazakhstan will be expanded range of easy to silage forage crops for the preparation of succulent forage (silage). Introduction barnyard millet is necessary to replenish the shortage of sugar in the diet of cattle in order to enhance productivity and improve competitiveness of livestock products in the domestic and foreign markets.

Prerequisites to the development of the project. State Programme for Development of AIC RK "Agribusiness 2020" providing strength of the agrarian economy and social development in the rural areas 2013-2020, in which one of the priorities of the agricultural sector is the development of the livestock industry and feed. Grassland is one of the most multifunctional sectors of agriculture. Unfortunately, until now the development of this sector has been neglected. At present in the Republic of Kazakhstan crops of annual forage crops have low productivity and one of the reasons for this is the imperfection of the species, varietal composition. Similar opinion was expressed by experts from Russia [1], [2] and Ukraine [3]. Using the variety of forage species of annual crops is limited with a limited range of varieties. At the moment in the country widely cultivated for green mass and hay 5-6 species (corn, Sudan grass, sorghum-Sudan hybrid rye, sorghum) for feeding purposes from annual cereal grass. At the same time there are more than 80 thousand species suitable for food and feed purposes in the world assortment. Small diversity of crops led to the problems in the world as well as in domestic agriculture. Strengthening of fodder due to high-forage plants with biochemical composition close to the physiological needs of the animals, the introduction and expansion of a range of forage crops is an urgent problem of fodder production [4], [5]. In this case, an important role is played in the selection of crops, which should have a short vegetation period, valuable morphological characteristics and properties of plants [6]. One of the reasons that prevent successful use of these cultures is the complete lack of information about the elements of the cultivation of these crops in specific soil and climatic conditions of the region. Barnyard millet grain fodder is one of such crops. Barnyard millet is cultivated as grain and forage crop in India, China, Korea and Japan. In the former USSR it was appeared in the early twentieth century. It is grown in Primorsk and Khabarovsk territories of Russia [7]. Grain of barnyard millet is used for the production of alcohol and brewing and in Asia as cereals. As it was established by technology assessment, grain of barnyard millet gives the best material for alcohol-distilling [8], [9], [10]. Barnyard millet is characterized by high biological plasticity and adaptability, rational use of agro-climatic conditions of cultivation zone [11]. Culture deserves serious attention and due to the fact that ensures high productivity in extreme drought conditions, especially in the light soils with granulometric composition [8]. Thanks to the work of scientists breeding cultivation of this crop was significantly expanded in the Northern and Western regions of Russia [8]. Barnyard millet is ecologically clean fodder.

Research carried out under the conditions of Woodlands of Ukraine and the Mogilev branch of RSRUE "Institute of Radiology" proved that replacing corn with billion dollar grass on contaminated soils with radionuclides is suitable due to the low level of accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  [12], [13]. According to ORG UAAN Polesie, the level of activity of cesium -137 in the green mass of barnyard millet was 215 Bq/kg and it was 3 times less than of white clover and 6.3 times than of amaranth [2]. In Sedukov's studies etc [14] factors of transferring of radionuclides into green mass of billion dollar grass made up: cesium  $137-0.03 \pm 0.00$  and strontium  $90-3.6 \pm 1.4$  Bq/kg. Taking into account these circumstances, there was a target task - by introducing to define the possibilities and prospects of barnyard millet' cultivation as feed and food crop in the arid conditions of Central Kazakhstan.

Currently, the animal diet is a very low index of succulent fodder harvesting silage and haylage, which leads to unbalanced feeding content and ratio of nutrients. The structure of the feed intake of crude fiber content increases with the proportion of roughage up 20-22% from 0.1% of dry matter. At the same time, each 1% of crude fiber digestibility and reduced nutrient diet at 0.88%. Ration should be provided on the digestible protein and metabolizable energy (MA) [15].

The main reason for the low rate of juicy fodder harvesting is a narrow range of silage crops, as well as their biochemical composition. At present in the republic for silage from easily silage crops are widely cultivated only a few species (maize, sorghum) [16]. In this context, the expansion of the range of silage crops - is one of the urgent problems of feed production. This plays an important role the selection of crops that should have a short vegetation period, valuable morphological characteristics and chemical composition [17]. To this end, a new introduction, unconventional fodder crops - barnyard millet, then using it as a silage.

Theoretically it is proved that a high content of sugar in barnyard millet combination of high-protein fodder crops produce high-quality juicy food [7].

In this regard, one of the goals of our research is to study the chemical composition of the new barnyard millet on vegetation phases forage silage crops, depending on the sowing date in the conditions of steppe region of Central Kazakhstan.

### Materials and methods of research

Experimental studies were carried out on the base of the Department of Agriculture and Plant, located in Central Kazakhstan.

Beginning and staging of field experiments were conducted by the conventional methodology in agronomy: methodic of field experience by B.D.Dospehov [18], strain testing of crops [19].

The object of research is the variety of barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*) - Krasava.

The experience was being laid with a 3-fold replications. The area of one experimental plot - 84 square meters, accounting area on  $1\text{ m}^2$ . Placement of options in systematic experiments with a serial arrangement of repetition. Barnyard millet crops for silage was performed at the physical maturity of the soil in 3 times planting period – in the second and third decades of May and in early June, with seeding rate in 1500 thousand germinating seeds per hectare.

Soil preparation for planting crops were conducted using traditional technologies, recommended for conditions of the region. Determination of nutrition of produced feed and their chemical composition were determined in the laboratories of LLP "Research and Innovation Center of Livestock and Veterinary" and Institute of leguminous and cereal crops (Orel city, Russia) on such devices and the equipment as protein analyzer "Foskgeitec - 2300"; fat analyzer "Soxtec"; fiber analyzer "Fybertec M6"; muffle furnace Ssect - hot; sterilization cabinet "Conterm".

Soil - climatic conditions in the year of the survey.

There was chosen the site typical of the region with a dark chestnut soils for the field experiments. The selection of soil samples was carried out before the beginning of the laying experiments to determine the basic nutrients, humus and pH of soil environment in layers of 0-20 cm and 0-40 cm (table 1). Analysis of agrochemical soil survey sample plots were carried out in the State "RNMTSAS" MoA specialized agrochemical laboratory.

Table 1 – Agrochemical properties of the pilot area of the soil

Aquifer, cm	Humus, %	$\text{P}_2\text{O}_5$ , mg/kg	$\text{K}_2\text{O}$ , mg/kg	l/gnitrogen, mg/kg	pH
0-20	2.18	14.33	565.5	31.9	7.0
20-40	1.49	7.07	388.5	25.2	7.1

The degree of compaction in size of volume weight is friable and  $1.2\text{ g/cm}^3$ . The reaction of the soil solution is neutral.

Experienced site is located in an area with an extremely continental climate. According to the average long-term studies on the average during the growing season 125 - 185 mm of rainfall falls. A period with the average daily temperature above  $+10^\circ\text{C}$  lasts 135 - 140 days. The period with steady snow cover is 125 - 140 days, snow depth is 16 - 35 cm, and water reserves in snow does not exceed 40 - 90 mm. The average temperature in January - 25 - 30 degrees below zero, in July - 25 degrees warm, wherein the duration of the warm period is 194 - 205 days, and the frost-free period - more than 100 days.

According to the information received from weather station, on experimental plots the temperature above  $0^\circ\text{C}$  was 174 days, with the amount of active temperatures 2886  $^\circ\text{C}$ . During the day there were sharp differences of temperature: in daytime  $+37.5^\circ\text{C}$ , and at night  $+6.2^\circ\text{C}$ . Greater rainfall - 2.7 times than the average long-term, fell in May. During the summer, in June, precipitation was 16.6 mm more, and in July, August and September in 2.0 - 2.5 times lower than the average annual index. Overall, the current conditions in May and August were characterized as slightly dry, SCC 0.8.

### Results and discussion

An economic value of barnyard millet depends on its nutritional value, determined by the chemical composition. There is not data on the effect of seeding term on the chemical composition of the green mass of plants in the dry steppe of central Kazakhstan area in the scientific literature. In this connection, based on our experiments, we can observe the dependence of the chemical composition and nutritional value of green mass of studied culture barnyard millet at different stages of its use.

Depending on the timing of planting, the highest crude protein content in the green mass of the studied culture barnyard millet was noted in the third term of sowing – in the first decade of June, and in the flowering stage, at the absolute dry matter - 10.59%. Also, the highest amount of ash, sugar, carotene was observed in the same period and phase, that is, the amount of ash on dry substance amounted to 9.9%, and the amount of sugar and carotene in 1 kg dry substance was 12.2 g/kg and 21.98 mg/kg, respectively. Number of all chemicals, except of fiber increases slightly from the first to the third sowing period (table 2).

Table 2 – The chemical composition of green mass of barnyard millet depending on sowing time and in different phases of development

Sowing period	Development phase	In % on dry substance			Sugar, g/kg	Carotene mg/kg
		crude protein	fiber	ash		
II-decade May	flowering	8.85	24.84	9.27	5.20	19.42
	milkripeness	7.40	26.99	7.79	2.39	16.76
III-decade May	flowering	9.98	28.72	8.72	9.50	19.55
	milk ripeness	9.63	31.86	8.10	8.70	18.91
I-decade June	flowering	10.59	25.07	9.9	12.2	21.98
	milk ripeness	8.02	32.45	7.71	10.2	20.96
SSD <sub>05</sub> (smallest significant difference)		1.29	1.38	1.15	1.26	1.30

High sugar content and carotene in green mass of barnyard millet causes it suse as one of the best forage forgetting succulent fodder.

The ultimate criterion for determining the efficiency of the use of green mass of certain crops should be considered as the gross collection of nutrients. This is because during certain periods of growth and development of plant nutrients decrease in yield value are overlapped. This increases the total yield per unit area of nutrients (table 3).

Table 3 – Nutritional value of green mass of barnyard millet depending on sowing time and in different phases of development

Sowing period	Development phase	The nutrient content in 1 kg of dry substance		
		feed units	digestible protein	MA MJ
1	2	3	4	5
II-decade May	flowering	0.69	52.77	8.70
	milk ripeness	0.62	44.73	8.27
III-decade May	flowering	0.64	62.04	8.41
	milk ripeness	0.59	38.42	8.03
I-decade June	flowering	0.87	63.98	9.33
	milk ripeness	0.69	44.48	8.67
SSD <sub>05</sub> (smallest significant difference)		1.09	1.13	1.12

For barnyard millet at the exit of feed units and digestible protein, as compared to other sowing dates, positively impacted the third period of sowing, the first decade of June, as well as the highest nutrient content noted in the flowering phase. The number of feed units and provision of fodder units of digestible protein increases slightly from the first to the third sowing period. However, at any stage of sowing green mass payzy remains balanced and digestible protein is in the range of 1 kg of dry matter from 38.42 to 63.98.

### Conclusions

By the results of the research, during the selection of planting dates, in order to adapt barnyard millet in the conditions of a steppe zone of the Republic of Kazakhstan, as a new fodder crop, the optimal planting dates to obtain high levels of chemicals and nutrition plants at the flowering stage, was third sowing period ie the first decade of June.

Since the chemical composition of plants is directly dependent on the phase of development, and with the age of the plant reduces the content of chemical substances other than fiber, and fiber content is increasing defined period of sowing, in which is possible to obtain a high sugar content. The amount of sugar required to produce high-quality silage, obtained in the third term sowing - the first decade of June, and ranged from 12.2 g/kg in the flowering stage, up to 10.2 g/kg of green mass of milky ripeness phase.

Summarizing the results it should be noted that the advantages of the green mass of forage barnyard millet, at different sowing dates, depend both on the biological characteristics of the culture and of the agronomic methods of cultivation, and the determination of which is the aim of research. The largest amount of ash per dry matter is 9.9%, sugar is 12.2 g/kg, carotene is 21.98 mg/kg on the third term of sowing. The number of feed units and the availability of feed units of the digested protein increases slightly from the first to the third period of sowing, but at any stage of sowing the green mass of barnyard millet remains balanced, and the digestible protein is within 1 kg of dry matter from 38.42 to 63.98.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Федорук С.П. Интенсификация кормопроизводства - основа развития животноводства / Федорук С.П. Краснодар. 2007 г. 260 с.
2. Косолапов В.М. Современное кормопроизводство - основа успешного развития АПК и продовольственной безопасности в России. Сельское хозяйство. / Косолапов В.М. 2009 г. С. 45-52.
3. Подобед Л.И. Рациональная, адекватная и экологически сбалансированная система кормопроизводства. / Подобед Л.И. Одесса, Печатный Дом. 2009 г. 230 с.
4. Глуховцев В.В. Внедрение нетрадиционных растений в лес Среднего Поволжья / Глуховцев В.В., Казарин В.Ф. // 2005 г. Наука и инновации в сельском хозяйстве, №4. С. 25-31.
5. Кукреш Л.В. Инновационные технологии - основа развития сельского хозяйства. / Кукреш Л.В., Казакевич П.П. // Наука и инновации в сельском хозяйстве. Минск. 2010 г. С.11-16.
6. Мирзаев Т. М. Культура просо в Узбекистане. Зерновые и крупяные культуры. / Мирзаев Т. М., Панжиев А. П. Ленинград. 1988 г. 240 с.
7. Константинов М.Д. Урожайность кормовых культур. / Константинов М.Д., Босий Н.П. Луга, №8. 1987 г. 320 с.
8. Лиферов Л.И. О вегетационном развитии и продуктивности пайзы в ботаническом саду/ Лиферов Л.И. // Воронежский государственный университет. Интродукция растений в Центрально-Черноземном регионе, Воронеж. 1988 г. С. 50-55.
9. Якушевский Е.С. Пайза как новый корм и техническая культура / Якушевский Е.С. 1941 г. Природа, №1. С.10-19.
10. Копылович В.Л. Перспективы внедрения засухоустойчивых культур на белорусском Полесье / Копылович В.Л., Сестак М.Н. Копылович В.Л., Сестак М.Н. // Экологические проблемы устойчивого развития Полесского региона и смежных с ним областей: наука, образование, культура. 2009 г. Москва. С.48-56.
11. Кузютина Л.И. Биологические особенности и продуктивность пайзы в условиях Пензенской области. Новые нетрадиционные растения и перспективы их использования. / Кузютина Л.И. // Материалы IV МС.Т.2. Москва. 2001 г. С. 112-125.
12. Шипилов Ю.В. Влияние форм азотных удобрений на переход растений Cs137 и урожайность пайзы на дерново-подзолистых песчаных почвах различной гидроморфности. Плодородие почвы и эффективное использование удобрений./ Шипилов Ю.В., Цыбулко Н.Н., Лазаревич С.С. // Материалы МНПК, посвященные 80-летию Института почвоведения и агрохимии. 2011 г. С. 230-241.
13. Кулаковская Т. В. Расширение ассортимента сельскохозяйственных культур - один из способов интенсификации кормопроизводства. Стратегия и тактика интенсификации экономически эффективного земледелия. Материалы МПК. Т.1. Сельское хозяйство и растениеводство. / Кулаковская Т. В. Министерство финансов. 2004 г. С. 18-25.
14. Седукова Г.В. Новые экономически эффективные кормовые культуры на загрязненных почвах. / Седукова Г.В., Самусев А.М., Демидович С.А., Юрченко Н.В. // Белорусское сельское хозяйство, №5. 2009 г. С.52-57.
15. Программа развития агропромышленного комплекса в Республике Казахстан на 2013-2020 годы «Агробизнес - 2020».
16. Статистические данные Агентства РК по статистике [Электронный ресурс] URL [httptr // www.stat.kz](http://www.stat.kz). (дата обращения: 02.12.2019)
17. Константинов М.Д. Продуктивность сельскохозяйственных культур / Константинов М.Д., Босий Н.П. // Кормопроизводство, №8. 1987 г. С. 21-23.
18. Доспехов Б.А. Методы полевого опыта. / Доспехов Б.А. М.: Агропромиздат. 1985 г. С.12-89.
19. Методика сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2011 г.): утверждена приказом Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от «13» мая 2011 г. № 06-2 / 254: 81.

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

1. Fedoruk S.P. Intensifikaciya kormoproizvodstva - osnova razvitiya zhivotnovodstva [Intensification of forage production - the basis of the development of animal husbandry]. / Fedoruk S.P. Krasnodar. 2007: 260 p. [in Russian]
2. Kosolapov V.M. Sovremennoe kormoproizvodstvo - osnova uspeshnogo razvitiya APK i prodovol'stvennoj bezopasnosti v Rossii. Sel'skoe hozyajstvo. [Modern feed production - the basis of the successful development of agribusiness and food security in Russia]. / Kosolapov V.M. Agriculture. 2009. P. 45-52. [in Russian]
3. Podobed L.I. Racional'naya, adekvatnaya i ekologicheski sbalansirovannaya sistema kormoproizvodstva [Rational, adequate and environmentally balanced system of forage production] / Podobed L.I. Odessa, Printing House. 2009. 230 p. [in Russian]
4. Glukhovtsev V.V. Vnedrenie netradicionnyh rastenij v les Srednego Povolzh'ya [The introduction of non-traditional plants in the forest of the Middle Volga.] / Glukhovtsev V.V., Casarin V.F. 2005. Agriculural science, №4. P.25-31. [in Russian]
5. Kukresh L.V. Innovacionnye tekhnologii - osnova razvitiya sel'skogo hozyajstva. [Innovative technology - the basis of the development of agriculture. Scientific and innovation in agriculture.] / Kukresh L.V., Kazakevitch P.P. Minsk. 2010. P.11-16. [in Russian]
6. Mirzaev T.M. Kul'tura proso v Uzbekistane. Zernovye i krupyanye kul'tury. [Millet culture in Uzbekistan. Corn and grouts crops]. / Mirzaev T.M., Panzhiev A.P. Leningrad. 1988. 240 p. [in Russian]
7. Konstantinov M.D. Urozhajnost' kormovyh kul'tur. [Crop yields]. / Konstantinov M.D., Bosiy N.P. Grassland, №8. 1987. 320 p. [in Russian]
8. Liferov L.I. O vegetacionnom razvitii i produktivnosti pajzy v botanicheskom sadu [Of season development and productivity Payziev Japanese in a botanical garden] / Liferov L.I. Voronezh State University. Introduction of plants in the Central Black Earth Region, Voronezh. 1988. P. 50-55. [in Russian]

9. Yakushevsky E.S. Pajza kak novyj korm i tekhnicheskaya kul'tura [Japanese millet as a new feed and industrial crop] / Yakushevsky E.S. 1941. Nature, №1. P.10-19. [in Russian]
10. Kopylovich V.L. Perspektivy vnedreniya zasuhoustojchivyyh kul'tur na belorusskom Poles'e [Prospects for the introduction of drought-resistant crops in Belarusian Polesie. The environmental problems of sustainable development of the Polesie region and adjacent areas: science, education, culture] / Kopylovich V.L., Sestak M.N. 2009. Moscow. P.48-56. [in Russian]
11. Kuzyutina L.I. Biologicheskie osobennosti i produktivnost' pajzy v usloviyah Penzenskoj oblasti. Novye netradicionnye rasteniya i perspektivy ih ispol'zovaniya. [Biological features and productivity of grain barnyard grass (Payziev) in terms of the Penza region. New non-traditional plants and prospects of their use]. Proceedings of the IV MS.T.2. / Kuzyutina L.I. Moscow. 2001. P. 112-125. [in Russian]
12. Shipilov Y.V. Vliyanie form azotnyh udobrenij na perekhod rastenij Cs137 i urozhajnost' pajzy na dernovo-podzolistyh peschanyh pochvah razlichnoj gidromorfnosti. Plodorodie pochvy i effektivnoe ispol'zovanie udobrenij [Effect of forms of nitrogen fertilizer on the transition of Cs137 plants and yield Payziev on turf-podzolic sandy soils of different hydromorphic. Soil fertility and efficient use of fertilizers] / Shipilov Y.V., Tsybulko N.N., Lazarevic S.S. // Materials PBMCS, dedicated to the 80 th anniversary of the Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry, Mn. 2011. P. 230-241. [in Russian]
13. Kulakovskaya T.V. Rasshirenie assortimenta sel'skohozyajstvennyh kul'tur - odin iz sposobov intensivifikacii kormoproizvodstva. Strategiya i taktika intensivifikacii ekonomicheski effektivnogo zemledeliya. Materialy MPK. T.1. Sel'skoe hozyajstvo i rastenievodstvo [Expanding the range of crops - one of the ways of intensification of fodder production. Strategy and tactics of economically viable farming intensification] / Kulakovskaya T.V. // Materials PBMCS. V.1. Agriculture and crop production. Ministry of Finance. 2004. P. 18-25. [in Russian]
14. Sedukova G.V. Novye ekonomicheski effektivnye kormovye kul'tury na zagryaznennyh pochvah. [New cost-effective forage crops in contaminated soils] / Sedukova G.V., Samusev A.M., Demidovitch S.A., Yurchenko N.V. // Belerussian agriculture, №5. 2009. P.52-57. [in Russian]
15. Programma razvitiya agropromyshlennogo kompleksa v Respublike Kazahstan na 2013-2020 gody «Agrobiznes - 2020» [The program for the development of agro-industrial complex in the Republic of Kazakhstan for 2013-2020 "Agribusiness - 2020"].[in Russian]
16. Statisticheskie dannye Agentstva RK po statistike [Statistical data of the RK Statistics Agency] [Electronic resource] , URL: <http://www.stat.kz>. (accessed: 02.12.2019) [in Russian]
17. Konstantinov M.D. Produktivnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Productivity of crops] / Konstantinov, M.D., Bosiy N.P. // Forage production, №8. 1987. P. 21-23. [in Russian]
18. Dospehov B.A. Metody polevogo opyta. [Methods of field experience] / Dospehov B.A. M.: Agropromizdat. 1985. P.12-89. [in Russian]
19. Metodika sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur (2011 g.): utverzhdena prikazom Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan [The methodology of the variety testing of crops (2011): Approved by order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan] on "13" May 2011 № 06-2 / 254: 81. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.009>**АБСОЛЮТНАЯ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МАССА ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ПОДОПЫТНЫХ БАРАНЧИКОВ ТУШИНСКОЙ ПОРОДЫ, ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КОРМЛЕНИИ РАЗНЫХ ФОРМ ЙОДА**

Научная статья

**Гогаев О.К.<sup>1,\*</sup>, Демурова А.Р.<sup>2</sup>, Икоева Б.К.<sup>3</sup>, Икоева Д.К.<sup>4</sup>, Гутиева Л.Н.<sup>5</sup>**<sup>1</sup> ORCID:0000-0001-7059-9694;<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», Владикавказ, Россия

\* Корреспондирующий автор (texmen2[at]mail.ru)

**Аннотация**

Применение неорганических соединений солей йода не всегда достаточно эффективно, так как они нестабильны, легко окисляются на воздухе, в результате чего содержание доступного йода значительно уменьшается. В связи с этим перспективным направлением в коррекции йоддефицитных состояний является применение органических форм йода, когда элемент находится в химической связи с каким-либо органическим веществом. В этом направлении в ООО «Фили Н-Фарм» (г. Москва) ведутся работы и в настоящее время выпускают йодсодержащие добавки «Йоддар» и «Йоддар-Zn».

**Цель работы**

Определить влияние разных форм йодсодержащих препаратов на некоторые показатели интерьера тушинских овец.

**Объекты исследования**

Баранчики тушинской породы, в рацион которых вводили разные формы йодсодержащих препаратов. Научно-хозяйственный опыт по изучению влияния разных форм йодных подкормок на развитие внутренних органов молодняка овец тушинской породы проведен АО «Саниба» Пригородного района Республики Северная Осетия-Алания в период с 2016 по 2019 года. Для опыта было подобрано 40 чистопородных баранчиков при рождении, происходящие от маток первого класса и одного барана-производителя. Все поголовье ягнят было разбито на 4 группы по 10 голов в каждой: одна группа контрольная и три опытных. Условия кормления, ухода и содержания всех групп были одинаковыми, разница была лишь в том, что опытные группы ярков получали дополнительно к основному рациону разные препараты йода. Основной рацион, составлен согласно «Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных»: 1 группа (контрольная) - кормление, принятое в хозяйстве – ОР – основной рацион; 2 группа - ОР + «Кайод»; 3 группа – ОР + «Йоддар» и 4 группа – ОР + «Йоддар-Zn». Количество йодовых подкормок добавляли в корм исходя из расчёта 2 мг йода на 1 кг сухого вещества рациона. В наших исследованиях мы не наблюдали существенных различий в относительной массе таких внутренних органов как сердце, почки, печень и селезенка. Исключение составили лишь легкие. Более существенная разница в их относительной массе была у баранчиков третьей опытной группы по сравнению с контрольной. На основании полученных данных можно заключить, что подкормка йодом оказало благотворное влияние на развитие жизненно важных внутренних органов, особенно добавка «Йоддар-Zn».

**Ключевые слова:** сердце, легкие, почки, селезенка, «Йоддар-Zn», «Йоддар», кайод.

**ABSOLUTE AND RELATIVE WEIGHT OF INTERNAL ORGANS OF TESTED BUCK LAMBS OF TUSHINSKY BREED, WHEN USING DIFFERENT FORMS OF IODINE IN FEEDING**

Research article

**Gogaev O.K.<sup>1,\*</sup>, Demurova A.R.<sup>2</sup>, Ikoeva B.K.<sup>3</sup>, Ikoeva D.K.<sup>4</sup>, Gutieva L.N.<sup>5</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7059-9694;<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Gorsky State Agrarian University", Vladikavkaz, Russia

\* Corresponding author (texmen2[at]mail.ru)

**Abstract**

It is not always quite effective to use inorganic compounds of iodine salts since they are unstable, easily oxidized in air, and as a result, the content of available iodine is reduced significantly. Due to this, a promising direction in the correction of iodine-deficient states is to use the organic forms of iodine, when the element is in chemical bonding with any organic substance. Fili N-Pharm LLC (Moscow) works on this issue and is currently producing iodine-containing additives, Yoddar, and Yoddar-Zn.

**Objective**

To determine the effect of different forms of iodine-containing preparations on some indicators of the interior of Tushino breed sheep.

**The object of the research**

The rams of the Tushino breed. Various forms of iodine-containing preparations were added to their diet. The scientific and economic experience in studying the effect of various forms of iodine feeding on the development of the internal organs of young sheep of the Tushino breed was carried out by Saniba JSC in the Prigorodny District of the Republic of North Ossetia-Alania from 2016 to 2019. 40 purebred rams, originating from first-class queens and one ram-producer, were selected at birth for this experiment. The entire number of lambs was divided into 4 groups of 10 animals each: one control group and three experimental ones. The conditions of feeding, care, and maintenance of all groups were the same; the difference was only in the fact that the experimental groups of rams received additional iodine preparations in addition to the main diet. The main

diet, compiled according to the "Norms and diets of feeding farm animals": group 1 (control) – feeding, taken on the farm – OR – the main diet; 2 group – OR + Kayod; Group 3 – OR + Yoddar; Group 4 – OR + Yoddar-Zn. The amount of iodine feeding added to the diet was based on the calculation of 2 mg of iodine per 1 kg of dry matter. In our studies, we did not observe significant differences in the relative weight of such internal organs as the heart, kidneys, liver, and spleen. Lungs were the only exception. A more significant difference in their relative weight was among the rams of the third experimental group compared to the control one. Based on the data obtained, it can be concluded that feeding with iodine had a beneficial effect on the development of vital internal organs, especially the supplement Ioddar-Zn.

**Keywords:** heart, lungs, kidneys, spleen, Yoddar-Zn, Yoddar, Kayod.

## Введение

Высокие экономические требования к рентабельности производства в рыночных условиях заставляют животноводов использовать более прогрессивные технологии, обеспечивающие максимальный уровень продуктивности животных, эффективное использование кормовых средств и снижения затрат кормов на производство продукции. Одним из условий получения дешевой высококачественной продукции является применение в кормлении животных рационов, сбалансированных по большому ряду питательных, минеральных и биологически активных веществ [1].

В общем комплексе полноценного кормления важное место занимают вопросы минерального питания. Исследованиями ряда ученых установлено низкое содержание некоторых макро- и микроэлементов в биосфере 4 природно-климатической зоны Центрального Предкавказья. В регионе отмечаются характерные эндемические заболевания, более низкие показатели продуктивности и конверсии кормов. Средние данные содержания йода в основных компонентах биосферы РСО-Алания значительно уступают данным Центральной Черноземной зоны – эталонной зоне по йоду в России. Так, по концентрации йода в почве наш регион уступает в 5,5 - 12,2 раза, в растениях эта разница отмечается в 1,4 - 12,1 раза, в воде - 2,7- 15,0 раза и в воздухе до 11 раз [2].

У овец из местности с пониженным содержанием йода и витаминов в кормлении отмечается недостаточность гормонообразующей функции щитовидной железы [3], соответственно снижаются показатели жизнеспособности и продуктивности.

Качественная продукция может быть получена только от здоровых животных и здесь важную роль занимает обеспечение животных йодом. Йод через йодсодержащие гормоны щитовидной железы влияет на все обменные процессы в организме животных [4].

Применение неорганических соединений солей йода не всегда достаточно эффективно, так как они нестабильны, легко окисляются на воздухе, в результате чего содержание доступного йода значительно уменьшается. В связи с этим перспективным направлением в коррекции йоддефицитных состояний является применение органических форм йода, когда элемент находится в химической связи с каким-либо органическим веществом. В этом направлении в ООО «Фили Н-Фарм» (г. Москва) ведутся работы и в настоящее время выпускают йодсодержащие добавки «Йоддар» и «Йоддар-Zn».

## Цель работы

Определить влияние разных форм йодсодержащих препаратов на некоторые интерьерные показатели тушинских овец.

## Объекты исследования

Баранчики тушинской породы, в рацион которых вводили разные формы йодсодержащих препаратов.

Кайод – йодсодержащее лекарственное средство, в составе которого содержится, в качестве действующего вещества, 6 мг калия йодида, стабилизированного натрием гидрокарбонатом в поваренной соли.

«Йоддар» - кормовая добавка в виде органических соединений йода с молочными белками. В 1 гр кормовой добавки содержит 830±100 мкг йода.

«Йоддар-Zn» - йодированный молочный белок с цинком, лактоза, крахмал картофельный, стеарат кальция. 1 гр. кормовой добавки «ЙОДДАР-Zn» содержит 50±10 мкг йода и 17,5±2,5 мкг цинка.

## Условия, материал и методы исследований

Научно-хозяйственный опыт по изучению влияния разных форм йодных подкормок на рост и развитие внутренних органов овец тушинской породы проведен АО «Саниба» Пригородного района Республики Северная Осетия-Алания в период с 2016 по 2019 года. Для опыта было подобрано 40 чистопородных ярок при рождении, происходящие от маток первого класса и одного барана-производителя. Все поголовье ягнят было разбито на 4 группы по 10 голов в каждой: одна группа контрольная и три опытных. Условия кормления, ухода и содержания всех групп были одинаковыми, разница была лишь в том, что опытные группы ярок получали дополнительно к основному рациону разные препараты йода. Основной рацион, составлен согласно «Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных» [5].

1 группа (контрольная) - кормление, принятое в хозяйстве – ОР – основной рацион;

2 группа - ОР + «Кайод»;

3 группа – ОР + «Йоддар»

4 группа – ОР + «Йоддар-Zn».

Количество йодовых подкормок добавляли в корм исходя из расчёта 2 мг йода на 1 кг сухого вещества рациона.

## Основные результаты и их обсуждение

Изучение внутренних органов дает возможность проследить за теми изменениями, которые произошли в процессе жизнедеятельности животного организма под влиянием тех или иных факторов. Изучение характера и степени развития внутренних органов имеет большое практическое и теоретическое значение в связи с тем, что степень развития внутренних органов в конечном итоге определяет жизнеспособность и продуктивность животных. Степень

развития внутренних органов зависит от различных факторов. Основными из них являются: порода, условия кормления и содержания, наследственность, продуктивность и физиологическое состояние.

С.Н. Боголюбский (1940) отмечает, что внешние изменения влекут неизбежно за собой изменения внутренние, и связаны они с развитием мышц, с изменениями скелета, пищеварительных и дыхательных органов.

В наших исследованиях изучались изменения внутренних органов, которые произошли под воздействием разных форм йодных добавок, после убоя животных в 8-месячном возрасте.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что по абсолютной массе внутренних органов животные опытных групп превосходили своих сверстников из контрольной группы. Это, очевидно, связано с тем, что животные опытных групп имели более высокую живую массу, чем контрольной. Как известно, большей живой массе соответствует и большая масса внутренних органов.

Для полноты анализа рассмотрим каждый внутренний орган в отдельности.

Сердце является важным органом, от которого зависит интенсивность кровообращения. От величины сердца зависят интенсивность обменных процессов в организме животного. По данным наших исследований, у баранчиков первой опытной группы сердце оказалось тяжелее на 6,7 г или 4,37%; второй – 16,3 г или 10,62% и третьей – 20,8 г или 13,56%, чем у сверстников из контрольной группы. Таким образом, минимальная разница была между животными первой опытной группы и контрольной, а максимальная – третьей опытной и контрольной групп. Анализируя относительные показатели массы сердца к предубойной массе можно отметить, что существенных различий не наблюдалось.

Таблица 1 – Абсолютная и относительная масса внутренних органов подопытных баранчиков

Показатель		Ед. изм.	Группа			
			контрольная	I	II	III
Предубойная масса		кг	28,4±0,63	29,1±2,70	30,3±2,18	31,1±1,26
		%	100	100	100	100
Масса	вытекшей крови	г	1162	1199	1257	1310
		%	4,09	4,12	4,15	4,21
	сердца	г	153,4	160,1	169,7	174,2
		%	0,54	0,55	0,56	0,56
	легких с трахеей	г	505,5	552,9	584,8	600,2
		%	1,78	1,90	1,93	1,93
	печени	г	465,8	488,9	515,1	544,2
		%	1,64	1,68	1,70	1,75
	почек	г	79,5	81,5	84,8	90,2
		%	0,28	0,20	0,28	0,29
	селезенки	г	68,2	72,7	75,8	80,8
		%	0,24	0,25	0,25	0,26

Легкие в организме животного обеспечивают газовый обмен, а их величина обусловлена интенсивностью работы. По массе легких наблюдаем более существенные различия между подопытными группами и выразились они в следующих цифрах в пользу опытных групп по сравнению с контрольной: в первой – 47,4 г или 9,37%; второй – 79,3 г или 15,69%; третьей – 94,7 г или 18,73%. Наибольшая разница наблюдалась у баранчиков второй и третьей опытных групп по сравнению с контрольной. Относительная масса имела также тенденцию к увеличению от 1,78% у животных контрольной группы до 1,93% третьей опытной группы.

Печень играет важную роль в обмене веществ. Она участвует в обмене углеводов, жиров, витаминов, микроэлементов и воды. Печень является депо витаминов, а также микроэлементов. Кроме этого, она выполняет барьерные функции, обезвреживая ядовитые вещества, поступающие из кишечника, и задерживая бактерии. Разница по массе печени в сравнении с контрольной группой у животных первой опытной группы составила 23,1 г или 4,96%; второй 49,3 г или 10,58% и третьей – 78,4 г или 16,83%.

Почки являются органом образования и выделения мочи. С мочой из организма выделяются излишние минеральные соли и инородные вещества. Почки регулируют водно-солевой обмен, поддерживают постоянство осмотического давления в организме животного. По абсолютной массе почек баранчики опытных групп превосходят сверстников из контрольной: первая на 2 г, или 2,51%; вторая – 5,3 г, или 6,67% и третья – 10,7 г, или 13,46%.

Селезенка является кроветворным органом. Кроме этого, в ней обезвреживаются заканчивающие свою жизнь эритроциты. По абсолютной массе селезенки опытные группы превосходили контрольную: первая – на 4,5 г, или 6,60%; вторая – 7,6 г, или 11,14% и третья – 12,6 г, или 18,47%.

Абсолютная масса внутренних органов еще не дает нам полной характеристики степени развития того или иного органа. Наиболее объективную оценку развития внутренних органов дает их относительная масса, вычисленная по отношению к предубойной массе баранчиков.

В наших исследованиях мы не наблюдали существенных различий в относительной массе таких внутренних органов как сердце, почки, печень и селезенка. Исключение составили лишь легкие. Более существенная разница в их относительной массе была у баранчиков третьей опытной группы по сравнению с контрольной.

#### Заключение

На основании полученных данных можно заключить, что подкормка йодом оказало благотворное влияние на развитие жизненно важных внутренних органов, особенно добавка «Йодпар-Zn».

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Волынкина М.Г. Использование минерально-витаминного премикса "Санмикс" в животноводстве / М.Г. Волынкина, Н.В. Казакова. -Монография. -Тюмень, 2013. -168с.
2. Кизинов Ф.И. Миграция йода в биосфере Центрального Предкавказья / Кизинов Ф.И. // Известия Горского ГАУ. Т.39. –Владикавказ, 2002. –С.95-98.
3. Петров А.К. Действие йодсодержащих препаратов на биохимические показатели крови и откормочные показатели молодняка овец / А.К. Петров, Л.А. Гнездилова // Вестник РУДН. Серия «Агрономия и животноводство». 2015. № 1. С. 48-54.
4. Использование йодсодержащих препаратов при выращивании молодняка овец / Б.Т. Абилов Б.Т. и др.// Овцы, козы, шерстяное дело. 2016. № 2. С. 35-38.
5. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / Под ред. А.П. Каланикова, И.В. Фисинина, В.В. Щеглова Н.И. Клейменова. –М: 2003. -456 с.

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

1. Volynkina M. G. Ispol'zovanie mineral'no-vitaminno premiksa "Sanimiks" v zhivotnovodstve [Use of mineral and vitamin premix "Sanimix" in animal husbandry] / M. G. Volynkina, N. V. Kazakova. -Monograph. - Tyumen, 2013. – 168p. [in Russian]
2. Kisinev F. I. Migraciya joda v biosfere Central'nogo Predkavkaz'ya [Migration of iodine in the biosphere of the Central Caucasus] / Kisinev F. I. // the qualitative report. Vol. 39. - Vladikavkaz, 2002. - Pp. 95-98. [in Russian]
3. Petrov A. K. Dejstvie jodsoderzhashchih preparatov na biohimicheskie pokazateli krovi i otkormochnye pokazateli molodnyaka ovec [The Effect of iodine-containing drugs on blood biochemical parameters and fattening indicators of young sheep] / A. K. Petrov, L. A. Gnezdilova // Vestnik RUDN. Series "agronomy and animal husbandry". 2015. No. 1. Pp. 48-54. [in Russian]
4. Ispol'zovanie jodsoderzhashchih preparatov pri vyrashchivanii molodnyaka ovec [The use of iodine-containing preparations for growing young sheep] / B. T. Abilov B. T. et al. // Sheep, goats, wool business. 2016. No. 2. Pp. 35-38. [in Russian]
5. Normy i raciony kormleniya sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh [Norms and rations of feeding of agricultural animals / ed. by A. P. Kalinikova, V. I. Fisinin, V. V. Shcheglov, N. And. Kleimenova. - M: 2003. -456 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.010>ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ В СОСНЯКАХ  
КАЗАХСКОГО МЕЛКОСОПОЧНИКА

Научная статья

Данчева А.В.<sup>1</sup>, Залесов С.В.<sup>2,\*</sup>, Муқанов Б.М.<sup>3</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5230-7288;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3779-410X;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-6511-5317;<sup>1</sup> Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия;<sup>2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия;<sup>3</sup> Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Щучинск, Казахстан

\* Корреспондирующий автор (Zalesov[at]usfeu.ru)

## Аннотация

Приведены результаты дендроклиматического исследования годичных колец сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в сухих лесорастительных условиях Казахского мелкосопочника. Обсуждаются основные причины климатической обусловленности сезонной изменчивости радиального прироста деревьев сосны. Установлено, что на ширину годичного кольца в наибольшей степени оказывает влияние климатический сигнал температуры и в наименьшей степени – осадков. Первая половина вегетационного сезона полностью определяет ширину годичного кольца. Основным климатическим фактором, влияющим существенным образом на ширину годичного кольца сосны, произрастающей в сухих условиях Северного Казахстана, является температура мая и июня. Жаркий май и июнь отрицательно влияют на радиальный прирост сосны обыкновенной, а осадки, наоборот способствуют формированию более широких годичных колец. При этом основной вклад в изменчивость ширины годичного кольца вносит именно температура воздуха. Выявлена тесная связь осадков июня с годичным приростом сосны в сухих условиях произрастания Северного Казахстана, однако за последние 10 лет отмечается резкое снижение влияния осадков июня на радиальный прирост сосны. Наблюдается общая тенденция увеличения влияния температуры и снижение влияния осадков конца вегетационного сезона предшествующего года (июль-август) в течение последних 10-15 лет.

**Ключевые слова:** сосновые древостои; радиальный прирост; климатические факторы; дендроклиматология.INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON RADIAL GROWTH OF TREES IN PINE FORESTS OF KAZAKH  
UPLAND

Research article

Dancheva A.V.<sup>1</sup>, S.V. Zalesov S.V.<sup>2,\*</sup>, Mukanov B.M.<sup>3</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-5230-7288;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3779-410X;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-6511-5317;<sup>1</sup> Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia;<sup>2</sup> Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russia;<sup>3</sup> Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Schuchinsk, Kazakhstan

\* Corresponding author (Zalesov[at]usfeu.ru)

## Abstract

The paper presents the results of dendroclimatic research of the annual rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), growing under dry forest growing conditions of the Kazakh upland. The authors discuss the main causes of the climatic dependence of the seasonal variability of the radial growth of pine trees. It was found that the climate signal of temperature and the least degree of precipitation have the greatest influence on the width of an annual ring. The first half of the growing season completely determines the width of the annual ring, and the main climatic factor, significantly affecting the width of the annual ring of pine growing in the dry conditions of Northern Kazakhstan, is the temperature in May and June. Hot May and June negatively affect the radial growth of Scots pine, and precipitation, on the contrary, contribute to the formation of wider annual rings. In this case, the main contribution to the variability of the width of the annual ring is made precisely by the air temperature. A close relationship was found between the June rainfall and the annual growth of pine under the dry conditions of Northern Kazakhstan, but over the past 10 years, there has been a sharp decrease in the effect of June rainfall on the radial growth of pine. There is a general tendency to increase the influence of temperature and a decrease in the effect of precipitation at the end of the growing season of the previous year (July-August) over the past 10-15 years.

**Keywords:** pine stands; radial growth; climatic factors; dendroclimatology.

## Введение

Глобальные изменения климата в последнее столетие стали общепризнанным фактом, причем они наблюдаются во всех природных зонах и фиксируются практически всеми компонентами экосистем [1], [2], при этом древесная растительность выступает надежным индикатором изменений природной среды и климата [2], [3]. Особенно широко в дендрэкологических исследованиях используется метод древесно-кольцевого анализа, который позволяет оценить реакцию радиального прироста деревьев на изменение основных климатических переменных – температуры и осадков [4]. Большинство таких работ проведены в субтропических регионах, тогда как районы зоны контакта леса и степи

исследованы недостаточно [2]. К последним можно отнести и сосновые леса Казахского мелкосопочника, представляющие собой южный предел распространения сосновых насаждений Южного Урала и Южного Алтая [5], [6].

В Казахстане, в частности, в Северном регионе, при всей изученности вопроса влияния отдельных климатических, лесорастительных и антропогенных факторов на динамику прироста деревьев (радиального, линейного и т.д.), отсутствуют исследования с использованием дендрохронологических и дендроклиматических методов в оценке состояния лесных насаждений. Поэтому район является весьма перспективным для исследований, а полученные данные будут характеризоваться новизной.

#### Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись сосновые древостои, произрастающие в сухих лесорастительных условиях (группа типов леса – С<sub>2</sub>) Северного региона Казахстана.

Анализ проведен по данным 40 кернов, собранных на 2 пробных площадях (ПП): ПП-2-Азаложенав КГУ ЛХ «Урумкайское», ПП-7 – в КГУ ЛХ «Мало-Тюктинское».

Закладка пробных площадей (ПП) и определение лесотаксационных параметров древостоев проводились в соответствии с общепринятыми в лесоводстве методиками [7].

Отбор древостоев и деревьев для изучения влияния климатических факторов (температура, осадки) и пожаров проведен по существующей, на сегодняшний день, методике дендрохронологических исследований [8].

В камеральных условиях годовые кольца сосны измеряли на измерительном комплексе LINTAB 5 с точностью до 0,01 мм. Образцы были перекрестно датированы с использованием программ TSAP 3.0 [9] и COFECNA [10]. Для устранения влияния возраста деревьев и других сигналов неклиматического характера на динамику радиального прироста была проведена стандартизация индивидуальных серий прироста в программе ARSTAN [11]. Серии, у которых изменчивость не описывалась экспоненциальной кривой, были исключены из анализа. В этой же программе на основе стандартизированных индивидуальных хронологий были получены обобщенные ДКХ индексов прироста и проведена оценка синхронности между временными рядами индексов прироста обобщенной хронологии, осадками и температурой воздуха за различные периоды времени.

Для расчета связей климатических факторов с индексами ширины годового кольца использованы метеорологические данные метеостанции города Щучинск. Корреляционный анализ между индексами ширины годового кольца и климатическими факторами (температура и осадки) был выполнен в программе Dendroclim 2002 [12]. Методом плавающей корреляции (50-летней скользящей средней) был проведен анализ связи между температурой и осадками и индексами прироста для годичной оценки динамики корреляционной связи.

Полученные данные были статистически обработаны с использованием средств электронной таблицы Microsoft Excel.

#### Результаты исследований

Таксационная характеристика исследуемых сосновых древостоев приведена в таблице 1, по данным которой объекты исследований представляют собой низкополнотные древостои (относительная полнота P=0,4). Сосняки являются одновозрастными чистыми по составу древостоями VI-VIII классов возраста. Класс бонитета – V.

Таблица 1 – Таксационная характеристика сосновых древостоев

№ ПП	Состав	Тип леса	Возраст, лет	Средние		Густота, экз./га	Полнота		Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
				высота, м	диаметр, см		абсолютная, м <sup>2</sup> /га	относительная, (P)		
2-А	8С2Б	С <sub>2</sub>	114	16,8±0,3	35,1±1,7	139	15,3	0,4	119	V
7	10С	С <sub>2</sub>	152	12,5±0,2	35,6±0,7	138	14,1	0,4	88	V

Длина полученных обобщенных хронологий сосны (рисунок 1) составляет в КГУ ЛХ «Урумкайское» 114 лет (1903-2017гг.), КГУ ЛХ «Мало-Тюктинское» - 152 лет (1865-2017гг.). У хронологий хорошо выражены возрастные кривые. Средняя корреляция между сериями высокая (0,75-0,8). Средняя чувствительность составляет 0,22, что является средним значением для лесостепной зоны [13].

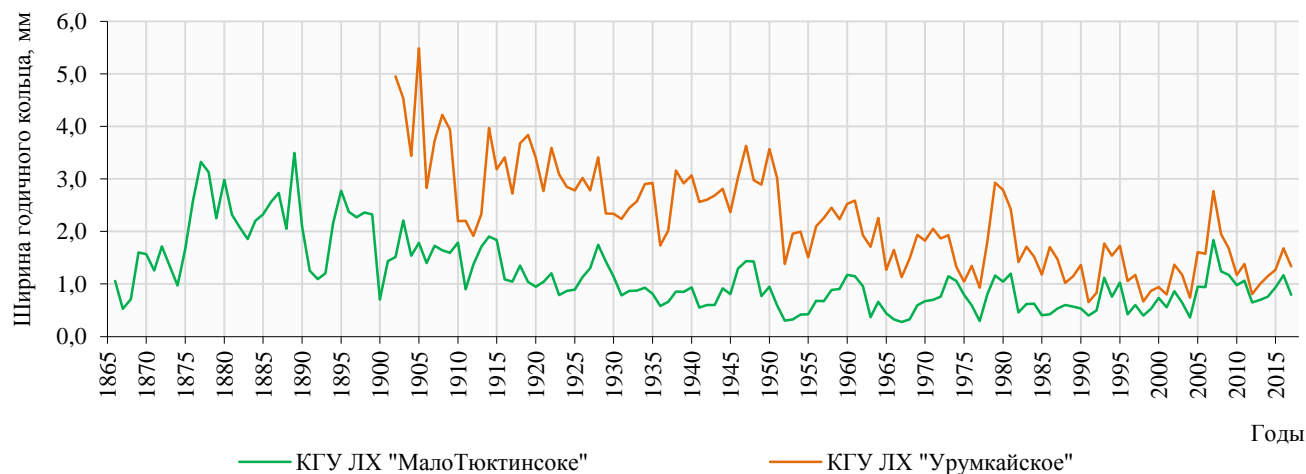


Рис. 1 – Общие дендрохронологии деревьев сосны в исследуемом районе

После проведения стандартизации и индексирования были получены обобщенные хронологии остатков, которые содержат более сильный климатический сигнал, то есть, имеют слабую автокорреляционную составляющую или не имеют ее (рисунок 2, 3). Изменчивость индексов составляет от 0,2 до 2,0. Полученные индексы прироста были использованы для оценки климатического сигнала в годичных кольцах.

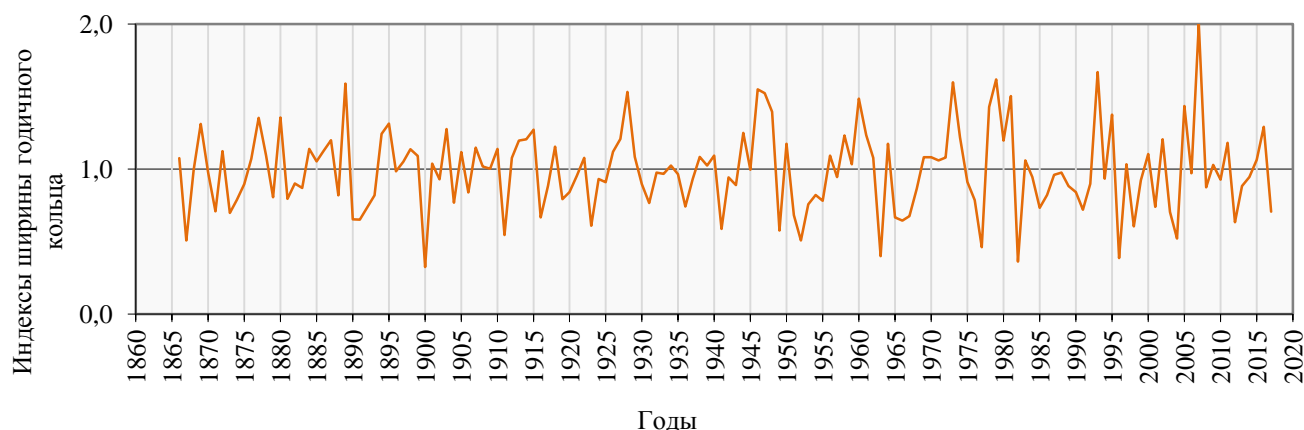


Рис. 2 – Индексированная древесно-кольцевая хронология сосны КГУ ЛХ «Мало-Тюктинское»

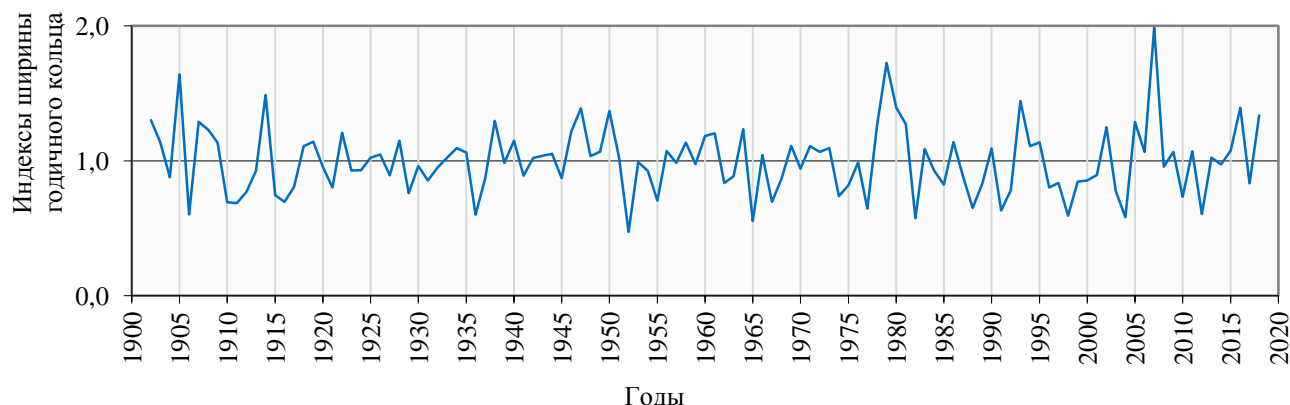
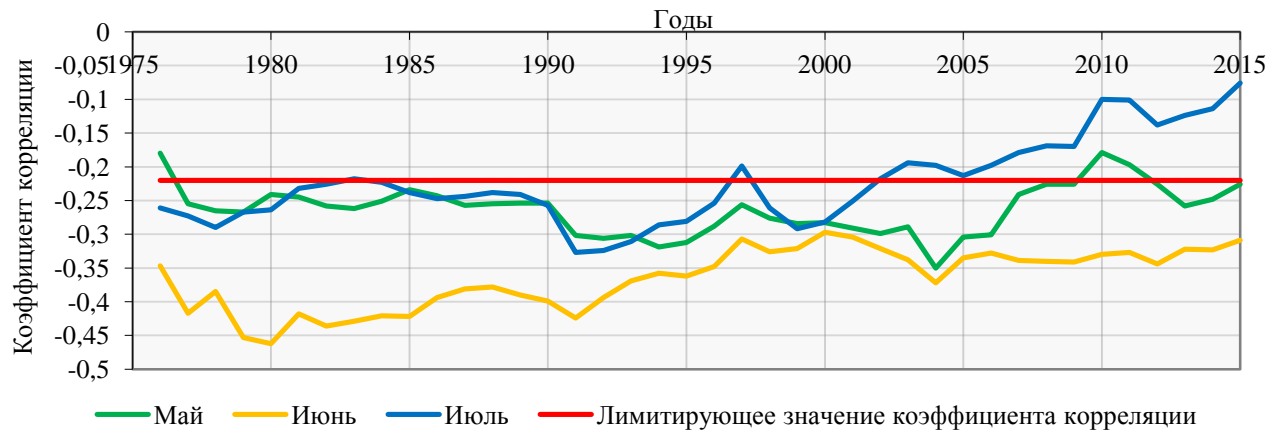


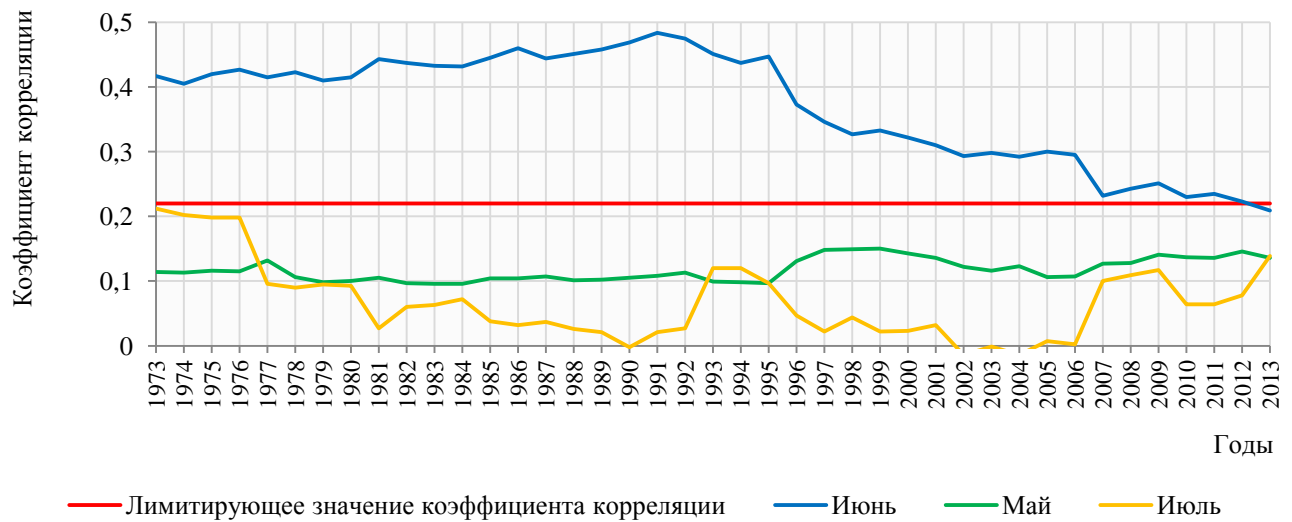
Рис. 3 – Индексированная древесно-кольцевая хронология сосны КГУ ЛХ «Урумкайское»

Климатический отклик хронологий остатков и стабильность связи климат-рост была проверена с помощью бутстрап-анализа скользящей средней с окном 50 лет с помощью Dendroclim2002. В анализ связи радиального прироста деревьев с температурой закладывались данные о средней за месяц температуре воздуха с августа текущего по сентябрь предшествующего года.

В результате проведенного анализа данных получены тесные взаимосвязи ширины годичного кольца с температурой мая-июля на всех объектах, подтвержденные значениями коэффициента корреляции между рассматриваемыми показателями (рисунок 4, 5). Полученные связи между годичным приростом деревьев сосны исследуемых объектов и климатическими переменными мая, июня и июля являются стабильными во времени. Влияние осадков мая и июля нестабильно и, не существенно.



а) температура



б) осадки

Рис. 4 – Коэффициенты корреляции между индексированной хронологией сосны КГУ ЛХ «Мало-Тюктинское» и температурой (а) и осадками (б)

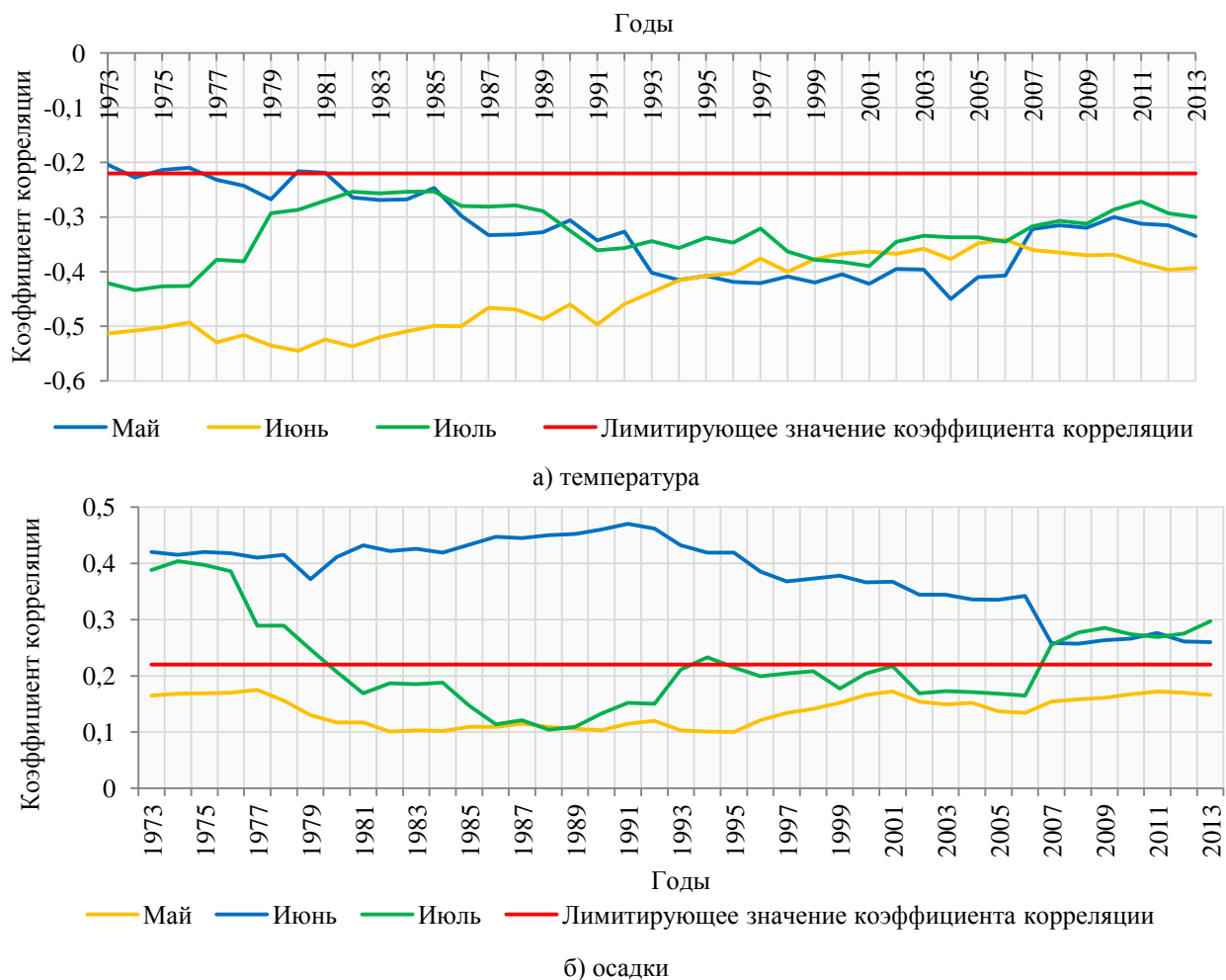


Рис. 5 – Коэффициенты корреляции между индексированной хронологией сосны КГУ ЛХ «Урумкайское» и температурой (а) и осадками (б)

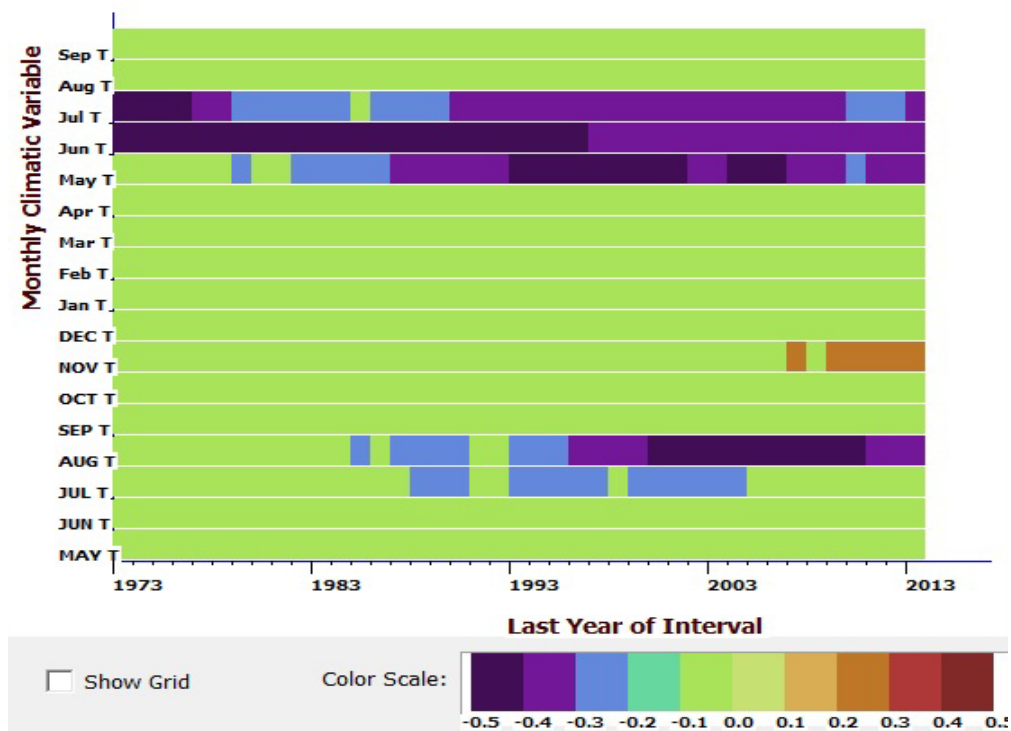
Несмотря на полученные общие закономерности взаимосвязи климатических факторов (температура и осадки) с древесно-кольцевыми хронологиями сосны исследуемых районов, наблюдаются некоторые различия в конкретных случаях. Так, в КГУ ЛХ «Мало-Тюктинское» (рисунок 4) отмечается тесная взаимосвязь годовичного прироста с температурой мая и июня, в то время, как в КГУ ЛХ «Урумкайское» (рисунок 5) взаимосвязь годовичного прироста сосны установлена с температурами мая, июня и июля. На всех объектах наблюдается тесная взаимосвязь годовичного прироста по диаметру с осадками июня.

В результате проведенного анализа отмечены особенности влияния анализируемых климатических факторов на ширину годовичного кольца во времени. Так, за последние 15 лет тесная взаимосвязь температур мая, июня и июля с годовичным приростом по диаметру сохраняется у деревьев сосны в КГУ ЛХ «Урумкайское», в то время, как в КГУ ЛХ «Мало-Тюктинское» и за анализируемый период наблюдается влияние температуры июля и нестабильное влияние температуры мая.

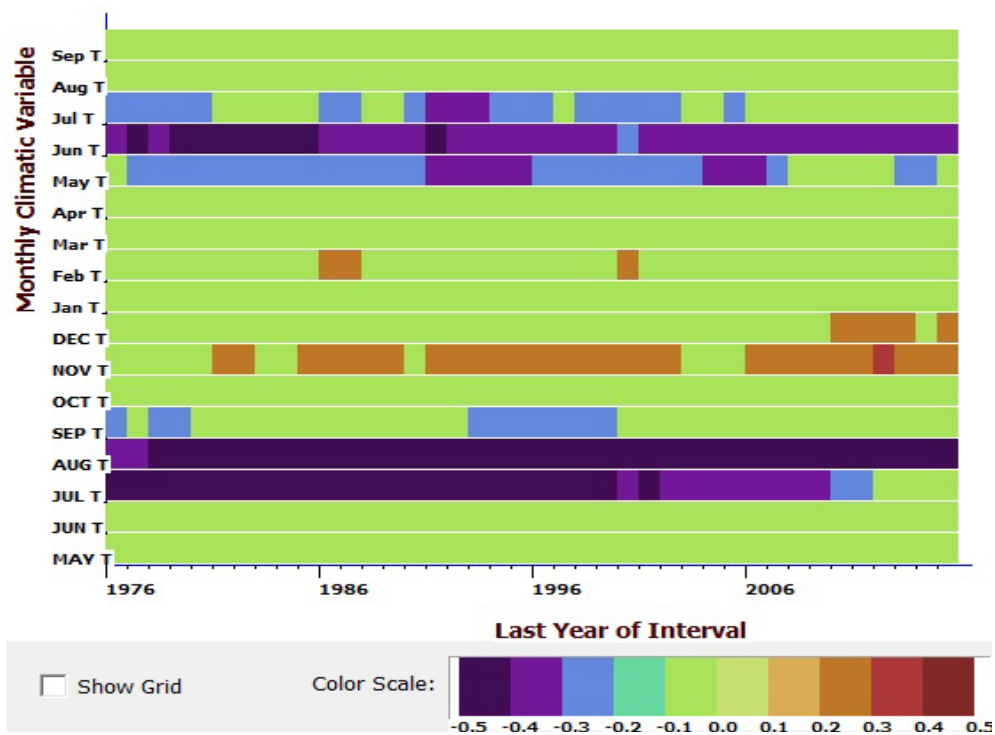
Несмотря на выявленную тесную связь осадков июня с годовичным приростом сосны в сухих условиях произрастания Северного Казахстана, за последние 10 лет отмечается резкое снижение данной взаимосвязи.

Таким образом, основным климатическим фактором, влияющим существенным образом на ширину годовичного кольца сосны, произрастающей в сухих условиях Северного Казахстана является температура мая и июня. При этом, на рассматриваемый показатель, существенным образом, оказывают влияние осадки июня.

Отмечается общая тенденция увеличения влияния температуры конца вегетационного сезона предшествующего года (август) в течение последних 15-20 лет на годовичный прирост сосны на всех исследуемых объектах (рисунок 6). Влияние осадков июля-августа предшествующего года, напротив, убывает за последние 10 лет (рисунок 7).

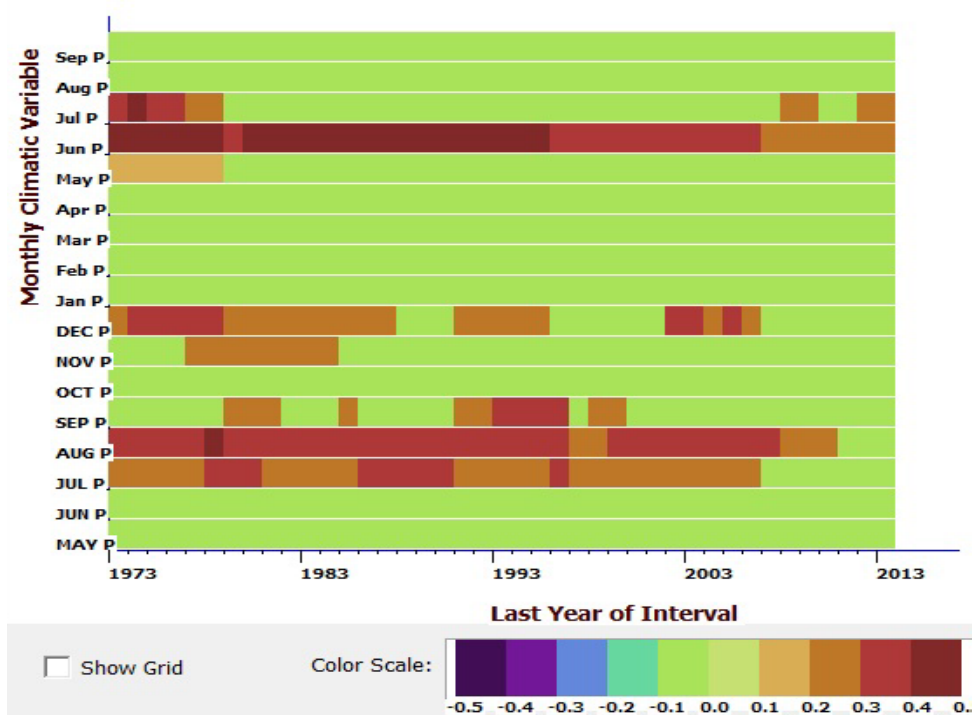


а) КГУ ЛХ «Урумкайское»

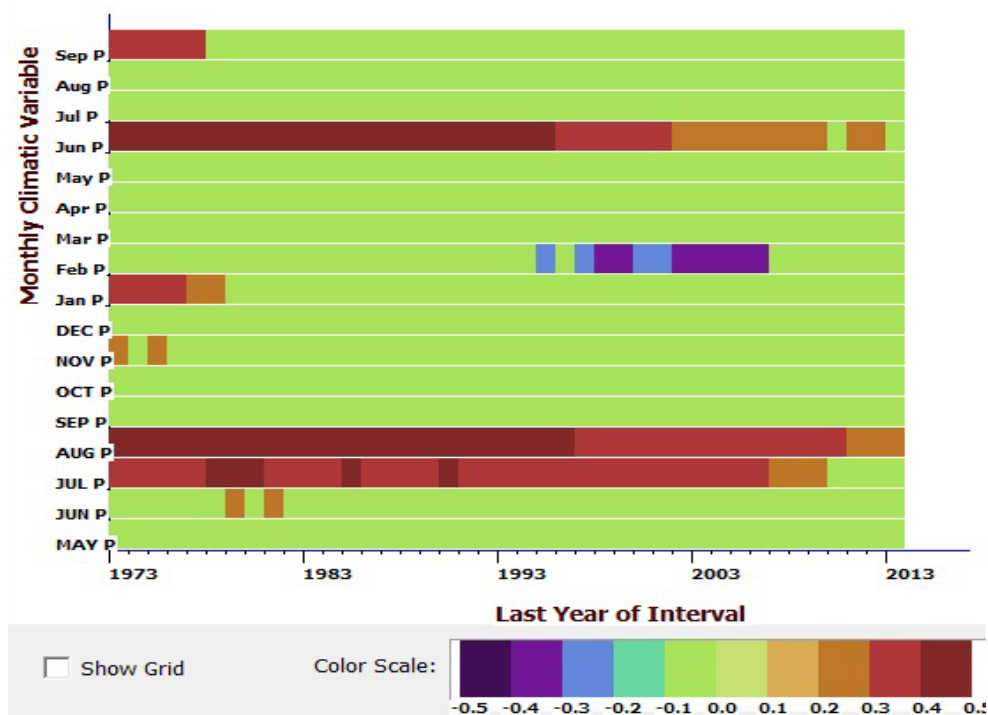


б) КГУ ЛХ «Мало-Тюктинское»

Рис. 6 – Бутстреп анализ стабильности связи между древесно-кольцевой хронологией сосны и температурой с окном 50 лет. Цветом показана теснота связи от отрицательной (синяя палитра) до положительной (красная палитра), зеленый – отсутствие статистически достоверной связи



а) КГУ ЛХ «Урумкайское»



б) КГУ ЛХ «Мало-Тюктинское»

Рис. 7 – Бутстреп анализ стабильности связи между древесно-кольцевой хронологией сосны и осадками с окном 50 лет

Выполненные исследования показали, что изменение климата приводит, в свою очередь, к изменению сложившихся зависимостей между температурой и осадками предыдущего года и радиальным приростом деревьев сосны текущего года. Отмеченное наиболее четко проявляется в сосновых насаждениях, произрастающих в аридных условиях на южной границе ареала. К таковым в полной мере можно отнести сосновые насаждения Казахского мелкосопочника.

В результате выполненного анализа установлено, что на основании данных о температуре и влажности вегетационного периода предшествующего года можно прогнозировать величину радиального прироста текущего года, а следовательно, спланировать депонирование углерода основными насаждениями. Особо следует отметить, что поскольку прирост древесины является интегральным показателем выполняемых деревьями и древостоями экологических функций, данные, полученные при проведении исследований, могут стать основой при расчетах общей продуктивности насаждений.

В то же время отклонение показателей, фиксируемое в последние 15-20 лет, вызывает необходимость продолжения исследований. Так, в частности, зафиксированное снижение влияния осадков июня на радиальный

прирост сосны, фиксируемое в последние 10 лет, вернее всего объясняется увеличением общего количества осадков за указанный период. Последнее подтверждается наблюдающимся увеличением площади многочисленных озер, расположенных на территории Казахского мелкосопочника. Продолжение исследований позволит установить влияние изменений климата на рост, состояние и устойчивость уникальных сосновых насаждений Казахского мелкосопочника.

### Выводы

По данным, проведенного дендроклиматического анализа древесно-кольцевых хронологий сосны, произрастающей в сухих лесорастительных условиях Казахского мелкосопочника (Северный регион Казахстана), установлено, что на ширину годичного кольца в наибольшей степени оказывает влияние климатический сигнал температуры и в наименьшей степени – осадков.

Первая половина вегетационного сезона полностью определяет ширину годичного кольца. Жаркий май и июнь отрицательно влияют на радиальный прирост сосны обыкновенной, а осадки, наоборот способствуют формированию более широких годичных колец. При этом основной вклад в изменчивость ширины годичного кольца вносит именно температура воздуха.

Выявлена тесная связь осадков июня с годичным приростом сосны в сухих условиях произрастания Северного Казахстана, однако за последние 10 лет отмечается резкое снижение влияния осадков июня на радиальный прирост сосны.

Наблюдается общая тенденция увеличения влияния температуры и снижение влияния осадков конца вегетационного сезона предшествующего года (июль-август) в течение последних 10-15 лет.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Serreze M. C. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment/ Serreze M. C., Walsh J. E., Chapin F. S. et al. // *Climatic Change* – 2000. – V. 46. – P. 159-207.
2. Агафонов Л. И. Изменение климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала / Агафонов Л. И., Кукарских В.В. // *Экология*. – 2008. – № 3. – С. 173-180.
3. Горчаковский П. Л. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях / Горчаковский П. Л., Шиятов С.Г. – М.: Наука, 1985. – 208 с.
4. Schweingruber F.H. Tree rings and environment. Dendroecology / F.H. Schweingruber. Bern–Stuttgart–Vienna: Paul Haupt Publishers, 1996. – 609 p.
5. Грибанов Л.Н. Некоторые вопросы биологии возобновления сосны и хозяйства в степных борах Казахстана / Грибанов Л.Н. // *Труды института водного и лесного хозяйства*. – Том I. – 1956. – С. 155-189.
6. Исаченко Т.И. Растительность мелкосопочника Северного Казахстана / Исаченко Т.И. // *Геоботаника*. Вып. XIII. Растительность степей Северного Казахстана. – 1961. – С. 444-463.
7. Данчева А. В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения: учебное пособие. / Данчева А. В., Залесов С. В. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 152 с.
8. Шиятов С. Г. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методическое пособие. / Шиятов С. Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. и др. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.
9. Rinn F. TSAP Time Series Analysis and Presentation. Version 3.0. Reference Manual / Rinn F. – Heidelberg. – 1996. – P. 262.
10. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / Holmes R. L. // *Tree-Ring Bulletin*. – 1983. – V. 43. – P. 69–78.
11. Cook E. Guide for Computer Program ARSTAN, Adapted from Users Manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona. / Cook E., Holmes R. – 1986. – P. 50–65.
12. Biondi F. DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies / Biondi F., Waikul K. // *Computers & Geosciences*. – 2004. – V. 30. – P. 303-311.
13. Шиятов С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. / Шиятов С. Г. – М.: Наука, 1986. – 136 с.

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

1. Serreze M. C. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment/ Serreze M. C., Walsh J. E., Chapin F. S. et al. // *Climatic Change* – 2000. – V. 46. – P. 159-207.
2. Agafonov L. I. Izmeneniye klimata proshlogo stoletiya i radial'nyy prirost sos-ny v stepi Yuzhnogo Urala [Climate change of last century and radial pine growth in steppes of Southern Urals] / Agafonov L. I., Kukarsky V.V. // *Ekologiya* [Ecology]. – 2008. – No. 3. – P. 173-180. [in Russian]
3. Gorchakovskiy P. L. Fitoindikatsiya usloviy sredy i prirodnykh protsessov v vysokogo-r'yakh [Phytoindication of environmental conditions and natural processes in high mountains] / Gorchakovskiy P. L., Shiyatov S. G. – M.: Nauka, 1985. – 208 p. [in Russian]
4. Schweingruber F.H. Tree rings and environment. Dendroecology / F.H. Schweingruber. Bern–Stuttgart–Vienna: Paul Haupt Publishers, 1996. – 609 p.
5. Gribov L.N. Nekotoryye voprosy biologii vozobnovleniya sosny i khozyaystva v stepnykh borakh Kazakhstana [Some issues of biology of pine regeneration and farming in the steppe forests of Kazakhstan] / Gribov L.N. // *Trudy instituta vodno-go i lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the Institute of Water and Forestry]. – Volume I. – 1956. – P. 155-189. [in Russian]

6. Isachenko T.I. Rastitel'-nost' melkosopochnika Severnogo Kazakhstana [Vegetation of small hills in Northern Kazakhstan] / Isachenko T.I. // Geobotanika. Vyp. XIII. Rastitel'nost' stepey Severnogo Kazakhstana [Geobotany. Vol. Xiii. Vegetation of the steppes of Northern Kazakhstan]. – 1961. – P. 444-463. [in Russian]
7. Dancheva A. V. Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy rekreatsionnogo nazna-cheniya: uchebnoye posobiye [Ecological monitoring of forest plantations of recreational purposes: a training manual]. / Dancheva A. V., Zalesov S. V. – Yekaterinburg: Ural. State Forestry Tech. Univ., 2015. – 152 p. [in Russian]
8. Shiyatov S. G. Metody dendrokhrono-logii. Chast' I. Osnovy dendrokhrono-nologii. Sbor i polucheniye dreves-no-kol'tsevoy informatsii: Uchebno-metodicheskoye posobiye [Methods of dendrochronology. Part I. Fundamentals of dendrochronology. Collection and receipt of tree-but-ring information: educational-methodical manual]. Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirdyanov A. V. et al. – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University, 2000. – 80 p. [in Russian]
9. Rinn F. TSAP Time Series Analysis and Presentation. Version 3.0.ReferenceManual / Rinn F. – Heidelberg. –1996. –P. 262.
10. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / Holmes R. L. // Tree-Ring Bulletin. – 1983. – V. 43. – P. 69–78.
11. Cook E. Guide for Computer Program ARSTAN, Adapted from Users Manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research.University of Arizona./ Cook E.,Holmes R. –1986. –P. 50–65.
12. Biondi F. DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies / Biondi F.,Waikul K. // Computers & Geosciences. -2004. -V. 30. -P. 303-311.
13. Shiyatov S. G. Dendrokhrono-nologiya verkhney granitsy lesa na Urale [Dendrochronology of upper border of forest in Urals] / Shiyatov S. G. – M.: Nauka, 1986. – 136 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.011>**СОСТОЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научная статья

**Оплетаев А.С.<sup>1</sup>, Залесов С.В.<sup>2\*</sup>, Жигулин Е.В.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-2602-6527;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3779-410X;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-5823-1114;<sup>1, 2, 3</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Россия

\* Корреспондирующий автор (Zalesov[at]usfeu.ru)

**Аннотация**

Проведена оценка состояния лесных питомников Рослесхоза на территории Свердловской области. Установлено, что в питомниках области выращиваются сеянцы в открытом грунте и в теплицах. Возможно выращивать сеянцы в открытом грунте в 23 питомниках на общей площади 354,8 га. Действующими в настоящий момент являются 74% анализируемых учреждений, однако используется в производстве посадочного материала только часть посевных площадей. На территории 9 лесничеств расположены 13 каркасов для сезонных пленочных теплиц на площади 1,3 га, однако функционируют только 2 питомника на площади 0,19 га. Произведена прогнозная оценка возможности годового объема выпуска сеянцев хвойных пород для всех категорий лесных питомников области. Установлено, что максимально возможное ежегодное производство посадочного материала составит 130,1 млн шт. в открытом грунте и 5,2 млн. шт. в закрытом грунте. Этого суммарного объема посадочного материала будет достаточно для искусственного лесовосстановления на площади 45,1 тыс. га. Среднегодовая потребность области в посадочном материале за последние 10 лет составила 15,1 млн. шт. сеянцев. Для производства указанного объема сеянцев необходимо задействовать 41,1 га посевных отделений открытого грунта в лесных питомниках. Установлено, что незадействованными в выращивании сеянцев площади составляют 315 га. Этот нереализованный потенциал необходимо направить на выращивание сеянцев для соседних регионов, подходящих по лесосеменному районированию.

**Ключевые слова:** искусственное лесовосстановление, питомник лесной, посадочный материал, открытый грунт, закрытый грунт, открытая корневая система, закрытая корневая система, сеянцы.

**CONDITION OF FOREST NURSERIES IN SVERDLOVSK REGION**

Research article

**Opletayev A.S.<sup>1</sup>, Zalesov S.V.<sup>2\*</sup>, Zhigulin E.V.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-2602-6527;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3779-410X;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-5823-1114;<sup>1, 2, 3</sup> FSBEI of HE, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

\* Corresponding author (Zalesov[at]usfeu.ru)

**Abstract**

The authors estimate the condition of forest nurseries of Rosleskhoz in the territory of the Sverdlovsk region. It was found that seedlings are grown both in open ground and in greenhouses in the nurseries of the region. It is possible to grow seedlings in open ground in 23 nurseries on a total area of 354.8 ha. 74% of the analyzed institutions are currently active, but only part of the sown area is used in the production of planting material. Thirteen frames for seasonal film greenhouses are located on an area of 1.3 hectares on the territory of 9 forestries. However, only two nurseries operate on an area of 0.19 hectares. The authors made a predictive assessment of the possibility of the annual production of coniferous seedlings for all categories of forest nurseries of the region. It was found that the maximum possible annual production of planting material is 130.1 million pcs. in open ground and 5.2 million pcs. in closed space. This total volume of planting material will be enough for artificial reforestation in an area of 45.1 thousand ha. The average annual demand of the region for planting material over the past ten years is up to 15.1 million seedlings. In order to produce the indicated volume of seedlings, it is necessary to use 41.1 hectares of open-air sowing branches in forest nurseries. It is found that the areas uninvolved in the cultivation of seedlings are 315 ha. This unrealized potential must be directed to the cultivation of seedlings for neighboring regions suitable for forest seed zoning.

**Keywords:** artificial reforestation, forest nursery, planting material, open ground, closed ground, open root system, closed root system, seedlings.

**Введение**

За последние несколько лет в России изменилось лесное законодательство в сфере лесовосстановления, в том числе были разработаны нормативы, направленные на увеличение доли сеянцев с закрытой корневой системой [1], [2]. Планируется увеличение объема создания лесных культур за счет компенсационных работ лицами, использующими леса в соответствии со статьями 43 - 46 Лесного кодекса Российской Федерации, а также в случаях изменения целевого назначения лесных участков. Для лесозаготовителей предусматривается запрет на использование посадочного материала с открытой корневой системой (ОКС) при посадке в осенний период.

Законодательством предусмотрено поэтапное увеличение доли лесных культур, созданных с использованием сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) к 2030 году до 45% [3]. Посадочный материал с ЗКС позволяет

осуществить интенсивную модель использования и воспроизводства лесов. Данные Рослесхоза (табл. 1) свидетельствуют, что планируется увеличение потребности в посадочном материале с ЗКС в ближайшие 5 лет на всей территории России. Использование семян с ЗКС планируется увеличить с 64,5 до 191,6 млн. шт. в год. На территории Уральского федерального округа планируется многократное (более чем в 10 раз) увеличение потребности в посадочном материале с ЗКС к 2024 г. Этот показатель является максимальным, по сравнению с другими регионами, в которых рост потребности в семенах с ЗКС составляет от 1,6 до 3 раз. Однако по состоянию на 01.01.2020 в Свердловской области выращиваются только семена с ОКС, а производители посадочного материала с ЗКС отсутствуют.

Таблица 1 – Прогнозная потребность посадочного материала с закрытой корневой системой по федеральным округам

Наименование федеральных округов	Ежегодная потребность в посадочном материале с закрытой корневой системой, млн шт.					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Центральный	7,1	7,2	7,5	16,5	16,8	17,0
Северо-Западный	9,4	9,9	10,2	22,6	23,2	23,6
Южный	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,4
Северо-Кавказский	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4
Приволжский	8,7	8,9	9,2	17,9	18,7	19,5
Уральский	5,2	5,2	5,3	34,2	38,7	55,9
Сибирский	22,6	22,7	22,9	40,7	41,1	41,5
Дальневосточный	10,3	11,0	11,1	30,2	30,9	31,4
Итого по Российской Федерации	64,5	66,1	67,7	164,7	171,9	191,6

На территории Свердловской области преобладает естественный способ лесовосстановления. В период с 2009–2018 годы путем естественного зарастания было восстановлено 164,1 тыс. га, или 73,7% фонда лесовосстановления. Искусственное лесовосстановление за этот же период составило 50,3 тыс. га или 22,6% от фактического объема лесовосстановительных мероприятий. Посев семян на лесокультурную площадь выполняется крайне редко и составляет лишь 0,7%. Основными лесобразующими породами при посадке лесных культур являются сосна, ель и лиственница. В 2009–2018 годы мероприятия по воспроизводству лесов осуществлялись преимущественно за счет средств лиц, использующих леса [8].

Целью настоящих исследований является анализ текущего состояния лесных питомников Рослесхоза на территории Свердловской области с оценкой перспектив возможности увеличения объема выпуска посадочного материала.

#### Материалы и методы

В качестве источника информации использовались ведомственные аналитические и нормативные материалы [8], [9], а также результаты анализа спутниковых снимков высокого пространственного разрешения [10], [11]. Дистанционный мониторинг лесных питомников Свердловской области с применением спутниковых снимков позволяет дать оценку текущего состояния производства посадочного материала и рассчитать обрабатываемую площадь используя различные вегетационные индексы [12], [13], [14].

Прогнозная оценка текущей потребности области в посадочном материале рассчитывалась на основе требований лесного законодательства, предусматривающих создание лесных культур на вырубках в таежной зоне первоначальной густотой не менее 3 тысяч семян на 1 га. Расчет потребности площадей посевных отделений питомников выполнялся с условием требований «Норм выхода стандартных семян деревьев и кустарников в лесных питомниках РФ» [15].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Для анализа текущего состояния производства посадочного материала для нужд лесовосстановления, лесной компенсации и рекультивации на территории Свердловской области в учреждениях Рослесхоза был составлен перечень всех лесных питомников (рисунок 1). Лесные питомники коммерческих организаций и лесопользователей в анализе не участвовали.

Установлено, что семена с ОКС возможно выращивать в посевных отделениях 23 питомников с общей площадью открытого грунта 354,8 га. Действующими в настоящий момент являются 74% учреждений в 14 лесничествах, однако используется в производстве посадочного материала только часть посевных площадей. При оценке используемых площадей в расчет принималась сумма посевных площадей, на которых посеяны или произрастают семена, а также поля под паром. Подавляющее большинство питомников имеют резерв, позволяющий увеличить выпуск семян (таблица 2).

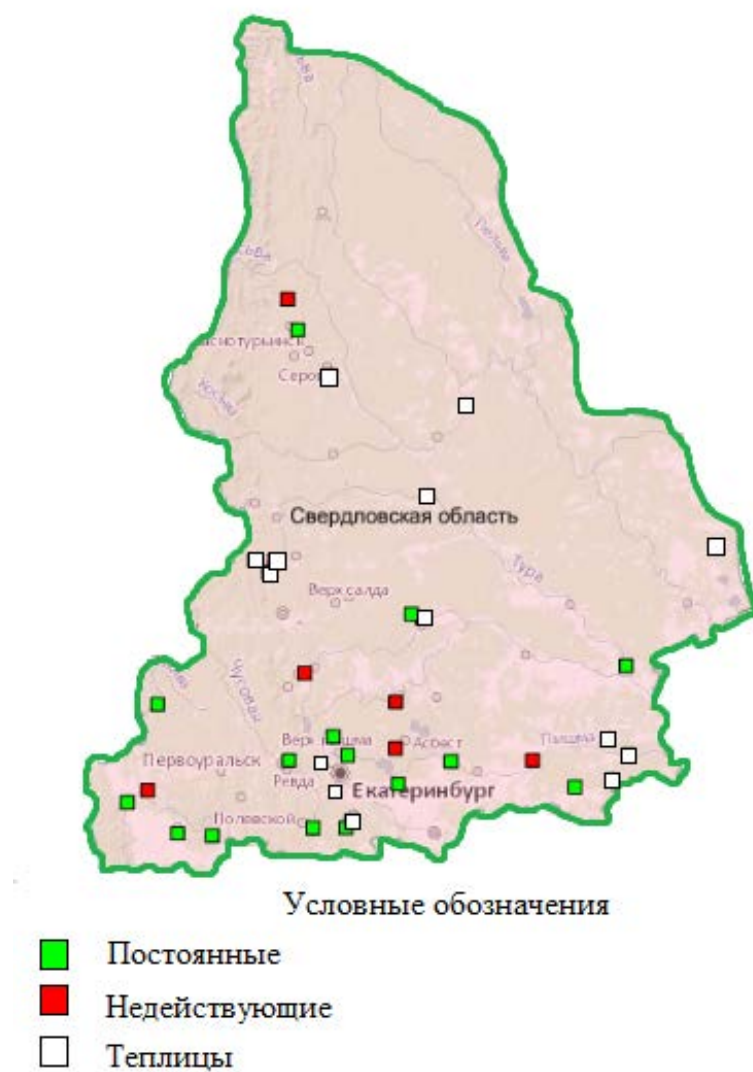


Рис. 1 – Карта-схема расположения лесных питомников на территории Свердловской области

Таблица 2 – Лесные питомники открытого грунта

№	Лесничество	Населенный пункт	Характеристика	Площадь, га	
				общая	используется
1	Алапаевское	пос. Верхняя Синячиха	Постоянный	20,0	5,1
2	Байкаловское	С. Туринская Слобода	Постоянный	14,0	1,0
3	Березовское	пос. Красный Адул	Постоянный	13,0	4,9
4	Березовское	г. Березовский	Постоянный	8,0	7,3
5	Билимбаевское	г. Первоуральск	Постоянный	10,6	10,3
6	Егоршинское	пос. Буланаш	Постоянный	19,0	8,2
7	Камышловское	пос. Пышма	Недействующий	19,5	0
8	Карпинское	г. Североуральск	Недействующий	26,3	0
9	Карпинское	г. Волчанск	Постоянный	24,4	1,2
10	Красноуфимское	г. Красноуфимск	Постоянный	38,0	17,4
11	Красноуфимское	пос. Уфимский	Недействующий	7,0	0
12	Красноуфимское	пос. Арти	Постоянный	9,0	3,7
13	Невьянское	г. Невьянск	Недействующий	22,0	0
14	Нижнесергинское	г. Михайловск	Постоянный	3,0	1,2
15	Режевское	г. Реж	Недействующий	2,0	0
16	Свердловское	пос. Белоярский	Постоянный	17,0	16,2
17	Сухоложское	г. Сухой Лог	Постоянный	21,0	7,2
18	Сухоложское	г. Асбест	Постоянный	6,5	6,0
19	Сысертское	пос. Станционный-Полевской	Постоянный	15,0	9,0
20	Сысертское	пос. Верхняя Сысерть	Постоянный	23,0	9,5
21	Тавдинское	пос. Карабашка	Недействующий	5,0	0
22	Талицкое	пос. Бутка	Постоянный	3,5	2,5
23	Шалинское	пос. Шамары	Постоянный	28,0	6,7
-	Всего:	-	-	354,8	117,4

На территории 9 лесничеств расположены 13 каркасов сезонных пленочных теплиц на площади 1,3 га, из которых функционируют только 2 питомника на площади 0,19 га (таблица 3). Указанные площади закрытого грунта при проведении модернизации могут быть использованы при выращивании сеянцев с ЗКС. Посадочный материал с ЗКС является более технологичным продуктом и требует строго соблюдения режимов выращивания. Для обеспечения полного технологического цикла производства сеянцев с ЗКС от подготовки семян до упаковки необходимо создавать соответствующую инфраструктуру.

Выращивание посадочного материала в закрытом грунте требует более сложного технического оснащения и высокой культуры производства. Теплицы должны иметь источники электроснабжения, водоснабжения, а также оборудованы системой полива и контроля температуры при выращивании. Вероятно, именно по этой причине подавляющее большинство питомников чаще всего используют открытый грунт.

Таблица 3 – Лесные питомники закрытого грунта

№	Лесничество	Населенный пункт	Характеристика	Площадь, га	
				общая	используется
1	Серовское	г. Серов	Недействующий	0,1	0
2	Гаринское	пос. Гари	Недействующий	0,1	0
3	Сотринское	пос. Восточный	Действующий	0,15	0,15
4	Кушвинское	г. Верхняя Тура	Недействующий	0,1	0
5	Кушвинское	д. Азиатская	Недействующий	0,1	0
6	Кушвинское	г. Кушва	Недействующий	0,18	0
7	Алапаевское	с. Нижняя Синячиха	Недействующий	0,05	0
8	Сысертское	г. Сысерть	Действующие	0,05	0,04
9	Тугулымское	пос. Юшала	Недействующий	0,06	0
10	Тугулымское	пос. Луговской	Недействующий	0,03	0
11	Тугулымское	пос. Ертарский	Недействующий	0,03	0
12	Уральский учебно-опытный лесхоз УГЛТУ	пос. Северка	Недействующий	0,1	0
13	Верх-Исетское	с. Горный Щит	Недействующий	0,25	0
-	Всего:	-	-	1,3	0,19

Для выполнения требований лесного законодательства в области увеличения выпуска посадочного материала для нужд лесовосстановления, лесной компенсации и рекультивации был произведен прогнозный расчет годового объема выпуска сеянцев при условии 100% использования всех посевных площадей лесных питомников на территории Свердловской области (таблицы 4). Установлено, что лесорастительные условия Свердловской области позволяют заготовить семена и вырастить посадочный материал основных лесообразующих пород самых разных лесосеменных районов, которые допускается использовать в соседних регионах.

Таблица 4 – Прогнозная оценка годового выпуска сеянцев в открытом грунте

№	Лесничество	Населенный пункт	Площадь, га	Номер лесосеменной район				Прогноз годового объема выпуска сеянцев с ОКС, млн. шт.
				С	Е	Л	К	
1	Алапаевское	пос. Верхняя Синячиха	20,0	9	10	7	3	7,3
2	Байкаловское	с. Туринская Слобода	14,0	9	10	7	3	5,1
3	Березовское	пос. Красный Адуй	13,0	9	10	7	3	4,8
4	Березовское	г. Березовский	8,0	9	10	7	3	2,9
5	Билимбаевское	г. Первоуральск	10,6	8	6	4	-	3,9
6	Егоршинское	пос. Буланаш	19,0	9	10	7	3	7,0
7	Камышловское	пос. Пышма	19,5	12	10	7	-	7,2
8	Карпинское	г. Североуральск	26,3	8	6	4	1	9,6
9	Карпинское	г. Волчанск	24,4	8	9	4	1	9,0
10	Красноуфимское	г. Красноуфимск	38,0	2	6	4	-	13,9
11	Красноуфимское	пос. Уфимский	7,0	2	6	4	-	2,6
12	Красноуфимское	пос. Арти	9,0	2	6	4	-	3,3
13	Невьянское	г. Невьянск	22,0	8	10	4	3	8,1
14	Нижнесергинское	г. Михайловск	3,0	2	6	4	-	1,1
15	Режевское	г. Реж	2,0	9	10	7	3	0,7
16	Свердловское	пос. Белоярский	17,0	12	10	7	-	6,2
17	Суходожское	г. Сухой Лог	21,0	12	10	7	-	7,7
18	Суходожское	г. Асбест	6,5	12	10	7	-	2,4
19	Сысертское	пос. Станционный-Полевской	15,0	8	10	7	-	5,5
20	Сысертское	пос. Верхняя Сысерть	23,0	8	10	7	-	8,4
21	Тавдинское	пос. Карабашка	5,0	11	10	7	3	1,8
22	Талицкое	пос. Бутка	3,5	12	10	7	-	1,3
23	Шалинское	пос. Шамары	28,0	2	6	4	-	10,3
-	Всего	-	354,8	-	-	-	-	130,1

Примечание: С – сосна обыкновенная, Е – ель сибирская, Л – лиственница Сукачева, К – сосна кедровая сибирская

Прогнозный расчет годового выпуска сеянцев с ЗКС на базе существующих конструкций теплиц выполнен при условии выращивания в 1 ротацию в течение вегетационного периода (таблица 5). На сегодняшний день в теплицах возможно вырастить до 5,87 млн. шт., что составляет 10,5% от максимальной потребности в сеянцах с ЗКС в Уральском Федеральном округе, которая по прогнозам Рослесхоза будет достигнута в 2024 г. При обустройстве открытых полигонов для дорастивания и закаливания возможно организовать выпуск продукции в 2 ротации. Таким образом, прогнозный объем выпуска сеянцев с ЗКС на территории Свердловской области может составить до 11,74 млн. шт.

Таблица 5 – Прогнозная оценка годового выпуска сеянцев в закрытом грунте

№	Лесничество	Населенный пункт	Площадь, га	Номер лесосеменного района				Прогноз годового объема выпуска сеянцев, млн. шт.	
				С	Е	Л	К	ОКС	ЗКС
1	Серовское	г. Серов	0,1	9	9	7	1	0,4	0,45
2	Гаринское	пос. Гари	0,1	9	9	7	1	0,4	0,45
3	Сотринское	пос. Восточный	0,15	9	9	7	1	0,6	0,68
4	Кушвинское	г. Верхняя Тура	0,1	8	10	4	1	0,4	0,45
5	Кушвинское	д. Азиатская	0,1	8	10	4	1	0,4	0,45
6	Кушвинское	г. Кушва	0,18	8	10	4	1	0,72	0,81
7	Алапаевское	с. Нижняя Синячиха	0,05	9	10	7	3	0,2	0,23
8	Сысертское	г. Сысерть	0,05	8	10	7	-	0,2	0,23
9	Тугулымское	пос. Юшала	0,06	12	10	7	-	0,24	0,27
10	Тугулымское	пос. Луговской	0,03	12	10	7	-	0,12	0,14
11	Тугулымское	пос. Ертарский	0,03	12	10	7	-	0,12	0,14
12	Уральский учебно-опытный лесхоз УГЛТУ	пос. Северка	0,1	8	6	7	-	0,4	0,45
13	Верх-Исетское	с. Горный Щит	0,25	8	6	7	-	1	1,13
-	Всего	-	1,3	-	-	-	-	5,2	5,87

**Заключение**

Лесные питомники Свердловской области имеют значительный резерв посевных площадей, позволяющий увеличить производство сеянцев с ОКС на 67%. Собственная потребность в сеянцах с ОКС полностью удовлетворяется, однако отсутствует выпуск сеянцев с ЗКС. Дефицит посадочного материала с ЗКС характерен для всех областей Уральского федерального округа, поэтому необходимо предпринять срочные меры по обеспечению строительства тепличных комплексов с целью выполнения условий лесного законодательства и обеспечения лесовосстановления районированным посадочным материалом.

**Выводы**

1. На территории Свердловской области в учреждениях Рослесхоза расположены 23 лесных питомника с общей площадью открытого грунта 354,8 га. Действующими в настоящий момент являются 74% учреждений в 14 лесничествах, однако используется в производстве посадочного материала только часть посевных площадей открытого грунта.

2. На территории 9 лесничеств расположены 13 каркасов сезонных пленочных теплиц на площади 1,3 га, из которых функционируют только 2 питомника на площади 0,19 га.

3. Среднегодовая потребность Свердловской области в посадочном материале составляет 15,1 млн. шт. сеянцев с ОКС.

4. Ежегодно искусственное лесовосстановление выполняется на площади 5,03 тыс. га, что составляет 22,6% от фонда лесовосстановления.

5. По состоянию на 01.01.2020 в Свердловской области производители посадочного материала с ЗКС отсутствуют.

6. На территории Уральского федерального округа планируется увеличение потребности в посадочном материале ЗКС к 2024 г. более чем в 10 раз. Этот показатель является максимальным, по сравнению с другими регионами, в которых рост потребности в сеянцах ЗКС составляет от 1,6 до 3 раз.

7. Прогнозное максимально возможное ежегодное производство посадочного материала с ОКС составит 130,1 млн шт. в открытом грунте и 5,2 млн. шт. в закрытом грунте.

8. Задействовано в выращивании сеянцев 33% посевных площадей от общей площади лесных питомников. Имеется внушительный потенциал увеличения производства сеянцев для реализации в соседних регионах, подходящих по лесосеменному районированию.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Об утверждении Правил выполнения работ по лесовосстановлению или лесоразведению лицами, использующими леса в соответствии со статьями 43 - 46 Лесного кодекса Российской Федерации, и лицами, обратившимися с ходатайством или заявлением об изменении целевого назначения лесного участка: Утв. постановление правительства РФ от 07.05.2019 №566.

2. О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования воспроизводства лесов и лесоразведения: Утв. Федеральным законом от 19 июля 2018 г. N 212-ФЗ.

3. Об утверждении правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений: Приказ министерства природных ресурсов и экологии РФ от 25.03.2019 № 188.
4. Жигунов А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой для лесовосстановления // автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук / Жигунов А.В. // Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства. Санкт-Петербург, 1998, 47 с.
5. Петухов И.Н. Лесоводственная эффективность создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой в условиях Костромской области / И.Н. Петухов // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2011. № 3. С. 33-35.
6. Бессчетнов В.П. Морфометрические параметры сеянцев сосны с открытой и закрытой корневой системой / В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова, Л.И. Клишина и др. // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. Т. 4. С. 52-67.
7. Гоф А.А. Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на гарях Алтайского края / А.А. Гоф, Е.В. Жигулин, С.В. Залесов и др. // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12-2 (90). С. 125-130.
8. Об утверждении Лесного плана Свердловской области на 2019–2028 годы: Утв. Указом Губернатора Свердловской области от 18.09.2019 № 450-УГ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации: гос. система правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/6600201909250020> (дата обращения: 20.02.2020).
9. Интерактивная карта «Леса России»: сайт ФГБУ «Рослесинфорг». [Электронный ресурс]. 2020. Дата обновления: 20.02.2020. URL: <http://geo.roslesinforg.ru:8282/#/> (дата обращения: 20.02.2020).
10. Жердев В.Н. Организация дистанционного мониторинга лесов (на примере Архангельской области) / В.Н. Жердев, Д.А. Баранович, В.Д. Постолов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 2 (33). С. 292-294.
11. Оплетаяев А.С. Применение программы MapInfo Professional при разработке базы данных опытных объектов и пробных площадей / А.С. Оплетаяев, А.А. Булатова // Леса России и хозяйство в них. 2015. № 3 (54). С. 10-15.
12. Фомин В.В. Методики оценки густоты подроста и древостоев при зарастании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения / В.В. Фомин, С.В. Залесов, А.Г. Магасумова // Аграрный вестник Урала, 2015. №1 (131). С. 25-29.
13. Gizachew B. Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data. / B.Gizachew, S. Solberg, E. Næsset, E. et al. // Carbon Balance Manage 11, 13 (2016). <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0055-8>
14. Yang W, A Simple Method for Retrieving Understory NDVI in Sparse Needleleaf Forests in Alaska Using MODIS BRDF Data. / W. Yang, H. Kobayashi, R. Suzuki, K.N. Nasahara // *Remote Sensing*. 2014; 6(12):11936-11955.
15. Об утверждении норм выхода стандартных сеянцев деревьев и кустарников в лесных питомниках Российской Федерации: Утв. приказом Федеральной службы лесного хозяйства России №144 от 25.10.1995 [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации — URL: <http://docs.cntd.ru/document/9015220> (дата обращения: 20.02.2020).

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

1. Ob utverzhdenii Pravil vypolneniya rabot po lesovosstanovleniyu ili lesorazvedeniyu licami, ispol'zuyushchimi lesa v sootvetstviy so stat'yami 43 - 46 Lesnogo kodeksa Rossijskoj Federacii, i licami, obrativshimisya s hodatajstvom ili zayavleniem ob izmenenii celevogo naznacheniya lesnogo uchastka: Utv. postanovlenie pravitel'stva RF ot 07.05.2019 №566. [On approval of the Rules for the implementation of reforestation or afforestation by persons using forests in accordance with Articles 43 - 46 of the Forest Code of the Russian Federation, and by persons applying or requesting a change in the purpose of the forest area: Approved. Decree of the Government of the Russian Federation of 05.07.2019 No. 566]. [in Russian]
2. O vnesenii izmenenij v Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii i otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii v chasti sovershenstvovaniya vosproizvodstva lesov i lesorazvedeniya: Utv. [On amendments to the Forest Code of the Russian Federation and certain legislative acts of the Russian Federation regarding improvement of forest reproduction and afforestation: Approved]. Federal Law of July 19, 2018 N 212-ФЗ. [in Russian]
3. Ob utverzhdenii pravil lesovosstanovleniya, sostava proekta lesovosstanovleniya, poryadka razrabotki proekta lesovosstanovleniya i vneseniya v nego izmenenij: Prikaz ministerstva prirodnyh resursov i ekologii RF ot 25.03.2019 № 188. [On approval of the rules of reforestation, the composition of the reforestation project, the procedure for developing a reforestation project and amending it: Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of March 25, 2019 No. 188]. [in Russian]
4. Zhigunov A.V. Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoj kornevoj sistemoy dlya lesovosstanovleniya [The theory and practice of growing planting material with a closed root system for reforestation] // abstract of thesis. ... Doctors of Agricultural Sciences / St. Petersburg Research Institute of Forestry. St. Petersburg, 1998, 47 p. [in Russian]
5. Petukhov I.N. Lesovodstvennaya effektivnost' sozdaniya lesnykh kul'tur seyancami s zakrytoj kornevoj sistemoy v usloviyakh Kostromskoj oblasti [Forestry efficiency of creating forest crops by seedlings with a closed root system in the conditions of the Kostroma region] / I.N. Petukhov // Bulletin of Moscow State Forest University - Lesnoy Vestnik. 2011. No. 3. P. 33-35. [in Russian]
6. Besschetnov V.P. Morfometricheskie parametry seyancev sosny s otkrytoj i zakrytoj kornevoj sistemoy [Morphometric parameters of pine seedlings with open and closed root system] / V.P. Beschetenov, N.N. Besschetnova, L.I. Klishina, O.Yu. Khramova, T.N. Bychenkova, Z.V. Gorelova, A.A. Sokolova, E.Zh. Kentbaev, B.A. Kentbaev, M.V. Shabalina // Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2014.V. 4.P. 52-67. [in Russian]

7. Gough A.A. Opyt sozdaniya lesnyh kul'tur seyancami s zakrytoj kornevoj sistemoj na garyah Altajskogo kraja [The experience of creating forest crops seedlings with a closed root system on the burns of the Altai Territory] / A.A. Gough, E.V. Zhigulin, S.V. Beyond Forests, A.S. Opletaev // International Research Journal. 2019.No 12-2 (90). P. 125-130. [in Russian]
8. Ob utverzhdenii Lesnogo plana Sverdlovskoj oblasti na 2019–2028 gody: Utv. Ukazom Gubernatora Sverdlovskoj oblasti ot 18.09.2019 № 450-UG [On approval of the Forest Plan of the Sverdlovsk Region for 2019–2028: Approved. By the decree of the Governor of the Sverdlovsk region dated September 18, 2019 No. 450-UG] [Electronic resource] // Official Internet portal of legal information: state. legal information system. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/6600201909250020> (accessed: 02.20.2020). [in Russian]
9. Interaktivnaya karta «Lesnaya Rossiya»: sajт FGBU «Roslesinform» [Interactive map "Forests of Russia": the website of FSBI "Rosle-Sinform"]. [Electronic resource]. 2020. URL: <http://geo.roslesinform.ru:8282/#/> (accessed: 02.20.2020). [in Russian]
10. Zherdev V.N. Organizaciya distancionnogo monitoringa lesov (na primere Arhangel'skoj oblasti) [Organization of remote monitoring of forests (on the example of the Arkhangelsk region)] / V.N. Zherdev, D.A. Baranovich, V.D. Postolov // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2012. No. 2 (33). P. 292-294. [in Russian]
11. Opletaev A.S. Primenenie programmy MapInfo Professional pri razrabotke bazy dannyh opytnyh ob"ektov i probnyh ploshchadej [The use of MapInfo Professional in the development of a database of experimental objects and trial plots] / A.S. Opletaev, A.A. Bulatova // Forests of Russia and the economy in them. 2015. No 3 (54). P. 10-15. [in Russian]
12. Fomin V.V. Metodiki ocenki gustoty podrosta i drevostoev pri zarastanii sel'skohozyajstvennyh zemel' drevesnoj rastitel'nost'yu s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostranstvennogo razresheniya [Methods for assessing the density of undergrowth and forest stands when agricultural lands are overgrown with woody vegetation using space images of high spatial resolution] / V.V. Fomin, S.V. Zalesov, A.G. Magasumova // Agrarian Bulletin of the Urals, 2015. No. 1 (131). P. 25-29. [in Russian]
13. Gizachew B. Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data. [Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data]. / B. Gizachew, S. Solberg, E. Næsset, et al. // Carbon Balance Manage 11, 13 (2016). <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0055-8> [in Russian]
14. Yang W. A Simple Method for Retrieving Understory NDVI in Sparse Needleleaf Forests in Alaska Using MODIS BRDF Data. [Simple Method for Retrieving Understory NDVI in Sparse Needleleaf Forests in Alaska Using MODIS BRDF Data]. / W. Yang, H. Kobayashi, R. Suzuki, K.N. Nasahara // Remote Sensing. 2014; 6(12):11936-11955. [in Russian]
15. Ob utverzhdenii norm vyhoda standartnyh seyancev derev'ev i kustarnikov v lesnyh pitomnikah Rossijskoj Federacii: Utv. prikazom Federal'noj sluzhby lesnogo hozyajstva Rossii №144 ot 25.10.1995 [On approval of the output standards of standard seedlings of trees and saplings in forest nurseries of the Russian Federation: Approved. by order of the Federal Forestry Service of Russia No. 144 dated 10/25/1995] [Electronic resource] // Electronic Fund of Legal and Technical Information - URL: <http://docs.cntd.ru/document/9015220> (accessed: 02.20.2020) . [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.012>**ИЗУЧЕНИЕ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ РЕК НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЯХРОМА**

Научная статья

**Кирейчева Л.В.<sup>1,\*</sup>, Яшин В.М.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7114-2706;<sup>1,2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова,  
Москва, Россия

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

**Аннотация**

В статье приведены результаты исследований загрязнения малой реки Яхромы, входящей в Верхне-Волжский бассейн, с целью установления влияния диффузного стока с сельскохозяйственных земель на качество речной воды для выявления основных источников загрязнения. Установлено, что по длине продольного профиля Яхромы минерализация воды примерно с одинаковым градиентом увеличивается от истока к устью от 89 мг/л в верховье до 228 мг/л в весенний и от 321 до 509 мг/л в летний период, что связано с поступлением загрязнителей от мелких точечных источников, автотранспортной сети, недостаточно очищенных сточных вод городов Яхромы и Дмитров, с сельскохозяйственных полей и мелиоративных систем. С дренажными водами с пойменного массива выносятся за год: соединений азота более 7-10 кг/га год, фосфора в среднем 0,02-0,04 и калия от 8 до 37 кг/год.

**Ключевые слова:** биогены, загрязнение, диффузный сток, минерализация, речная вода, дренажный сток.

**RESEARCH OF DIFFUSIVE POLLUTION IN SMALL RIVERS ON EXAMPLE OF YACHROMA RIVER**

Research article

**Kireicheva L.V.<sup>1,\*</sup>, Yashin V.M.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7114-2706;<sup>1,2</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov,  
Moscow, Russia

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

**Abstract**

The paper presents the results of the research on pollution in the small Yakhroma river, the part of the Upper Volga basin, in order to establish the effect of diffuse runoff from agricultural lands on the quality of river water to identify the main sources of pollution. It was established that along the length of the Yakhroma longitudinal profile, water mineralization with approximately the same gradient increases from source to mouth from 89 mg/L along the upper reaches to 228 mg/L in the spring and from 321 to 509 mg/L in the summer, due to the influx of pollutants from small point sources, the transport network, insufficiently treated wastewater from the cities of Yakhroma and Dmitrov, from agricultural fields and reclamation systems. The following substances are carried out with drainage water from the floodplain (per year): nitrogen compounds more than 7-10 kg/ha per year, phosphorus on average 0.02-0.04, and potassium from 8 to 37 kg/year.

**Keywords:** biogenes, pollution, diffuse runoff, mineralization, river water, drainage.

**Введение**

В настоящее время наблюдается значительное ухудшение качества крупнейших рек европейской части России, среди которых в неудовлетворительном состоянии находятся реки Волжского бассейна [1], [2], [3]. Существенной причиной загрязнения водных объектов, наряду со сбросом сточных вод от промышленных, коммунальных и других предприятий, является диффузный сток с водосборной территории. Общая площадь бассейна реки Волги по поверхностному стоку составляет примерно 1360 квадратных километров. Территория бассейна располагается в зонах с избыточным, неустойчивым и недостаточным увлажнением [4], [5]. Переувлажнение территории Верхней Волги обуславливает развитие заболоченных и болотных почв, относительные площади которых закономерно уменьшаются в направлении с севера на юг от 40-50% в Тверской и Вологодской областях до 10-20% в Московской и Владимирской областях. В зоне избыточного и неустойчивого увлажнения в бассейнах малых рек располагаются преимущественно осушаемые сельскохозяйственные земли, с которых диффузное загрязнение поступает в водные объекты с поверхностным и дренажным стоком. Осушение земель создает предпосылки увеличения поступления диффузного загрязнения с мелиорируемых сельскохозяйственных земель в водные объекты, обусловленные поступлением загрязнений с дренажным стоком, который сбрасывается в водные объекты рассредоточено и без предварительной очистки. Наибольший уровень использования осушенных земель в сельскохозяйственном производстве отмечается в Московской (196,5 тыс. га), Вологодской (163,37 тыс. га), Новгородской (134,5 тыс. га), Кировской (132,03 тыс. га), Смоленской (109,1 тыс. га) и Тверской (106,94 тыс. га) областях. Все отмеченные области расположены в зоне распространения заболоченных земель от 10 до 30 % площади территории.

Малые реки, являясь одновременно составной частью гидрографической сети Волжского бассейна и водоприемниками дренажного стока с осушаемых земель, транспортируют загрязнения, поступающие с территории малых бассейнов, непосредственно в Волгу. Для того, чтобы оценить роль диффузного стока в общем загрязнении речной воды малой реки были проведены исследования в бассейне притока 3-го порядка Волги реки Яхромы, где на пойме размещается крупный мелиоративный объект площадью более 9 тыс. га. В результате длительной эксплуатации сформировался специфический мелиоративный режим, характеризующийся интенсивным водным и питательным режимом почв [6].

### Цель настоящих исследований

Оценка влияния диффузного загрязнения с сельскохозяйственных осушаемых территорий на качество речной воды малой реки.

### Объект и методика исследований

Площадь водосбора реки Яхромы составляет 1437 км<sup>2</sup> и располагается в пределах двух крупных физико-географических структур – Клинско-Дмитровской гряды и Верхне-Волжской низменности. Исток реки находится в пределах Клинско-Дмитровской гряды, а впадает Яхрома в реку Сестра у поселения Усть-Пристань. Длина реки составляет 78 км [7], [8].

В верхнем течении режим реки носит естественный характер, который заканчивается при впадении в Яхромское водохранилище. В среднем течении, ниже г. Дмитрова, река выходит на обширный пойменный массив, интенсивно используемый для производства сельскохозяйственной продукции, представляющий собой оросительно-осушительную систему двустороннего регулирования водного режима почв. Часть массива функционирует в режиме польдера. Для защиты пойменного массива от поступления вод с левого борта долины вдоль коренного берега построен Левый Нагорный канал с системой мелиоративных каналов, в которые поступают также речные воды притоков и стоки из населенных пунктов и через гидротехническую сеть стекающие в Яхрому. В пределах мелиорированного массива река Яхрома канализована и получила название Новая Яхрома, берега которой укреплены дамбами. В нижнем течении река протекает в низменной местности, русло характеризуется большой извилистостью. Дренажная сеть на мелиорированном массиве выполнена в виде закрытого горизонтального дренажа глубиной 0,8-1,2 м и междренными расстояниями от 12 до 40 м, впадающего в закрытые коллекторы, сток из которых через открытую сеть попадает непосредственно в реку. Водозабор из Яхромы и подача в оросительную сеть осуществляется передвижными и стационарными насосными станциями. Оросительная техника представлена двухконсольными дождевальными машинами.

Методика проведения исследований включала рекогносцировку по всей длине реки с наблюдением за состоянием водотока, выбор характерных точек для отбора проб воды, обусловленных наличием на водосборе различных источников загрязнения. По продольному профилю реки было выбрано 8 пунктов отбора проб: 2 пункта - Я-1 (56°13'11,2" с.ш., 37°47'01,7" в.д.) и Я-3 (56°16'11,8" с.ш.; 37°35'01,1" в.д.) выше Яхромского водохранилища, где антропогенная нагрузка обусловлена наличием сельских населенных пунктов, садоводческих товариществ и сельхозугодий и не является интенсивной. Ниже водохранилища река протекает в зоне влияния автомагистрали и городов - пункты Я-4 (56°17'50,7" с.ш., 37°29'08,1" в.д.) и Я-5 (56°21'17,5" с.ш., 37°30'17,8" в.д.); в начале мелиорируемого массива Яхромской поймы, ниже поступления сточных вод г. Дмитров - пункт Я-6 (56°22'45,2" с.ш., 37°28'43,1" в.д.); в центральной части массива - Я-8 (56°25'45,5" с.ш., 37°20'18,7" в.д.); на выходе с массива - Я-10 (56°26'56,8" с.ш., 37°13'01,6" в.д.) и в устьевой части, дер. Усть-Пристань - Я-11 (56°30'16,0" с.ш., 37°06'43,9" в.д.). Изучение коллекторно-дренажного стока проводилось в открытой мелиоративной сети и по стоку из закрытых коллекторов, также было изучено поступление вод на массив мелиорации по притокам и паводковых вод.

Непосредственно «in situ» определяли электропроводность, температуру воды, величину pH, окислительно-восстановительный потенциал и содержание растворенного кислорода с использованием портативных приборов «Cond 340i/SET», «pH 330i/SET» и «OXI 196» фирмы «WTW» и кондуктометра HI 8733 фирмы «HANNA instruments». В отобранных на анализ пробах в лаборатории ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» определяли содержание калия - потенциометрическим, нитритов, аммония и фосфатов – калориметрическим методами. Анализы содержания металлов и отдельных химических элементов в речной воде Яхромы и открытых мелиоративных каналах проведены спектрометрическим методом атомной эмиссии с индуктивно-связанной плазмой (ICP) в Энглер Бунте институте университета Карлсруэ в Германии (DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH).

В качестве сравнения анализировались результаты полевых исследований 2009-2011 гг., изложенные в работе Н.В. Кузнецовой [8]. Для оценки качества дренажного стока и его влияния на речные воды Яхромы использовались детальные исследования, проведенные на Яхромской пойме в различные годы В.А. Трифиновым (ВНИИГиМ) [9], Е.Б. Стрельбицкой [10] и В.М. Яшиным [11], [12].

### Результаты и обсуждение

Исследования формирования качества речных вод в целом по водосборному бассейну Яхромы проведены в весенне-летний период 2019 года, а в пределах мелиорируемого массива Яхромской поймы также в 2001-2005 годы.

В весенний период (пробы отобраны 12.04.2019г.) химический состав речной воды определяется преимущественно качеством талых вод, поступающих в русло реки путем склонового стока и по притокам, характеризующихся сравнительно небольшими значениями минерализации. Установлено, что по продольному профилю реки минерализация закономерно увеличивается за счет диффузного стока и точечных источников от 89 мг/л в верховье до 228 мг/л в приустьевом участке (рис. 1). Наибольшее значение приурочено к участку, где река принимает сточные воды г. Дмитрова и дренажные воды с мелиорируемого массива, которые характеризуются повышенной минерализацией за счет внесения минеральных удобрений при реализации агротехнологий. Минерализация воды притоков, поступающих в Левый Нагорный канал, изменяется в пределах 227-465 мг/л, в открытой мелиоративной сети - от 283 до 939 мг/л. При этом величина минерализации уменьшается с увеличением водности мелиоративного канала за счет притока талых вод. Распределение концентраций биогенных загрязнителей в речной воде по продольному профилю от истоков до устья реки Яхромы показаны на рисунке 1.

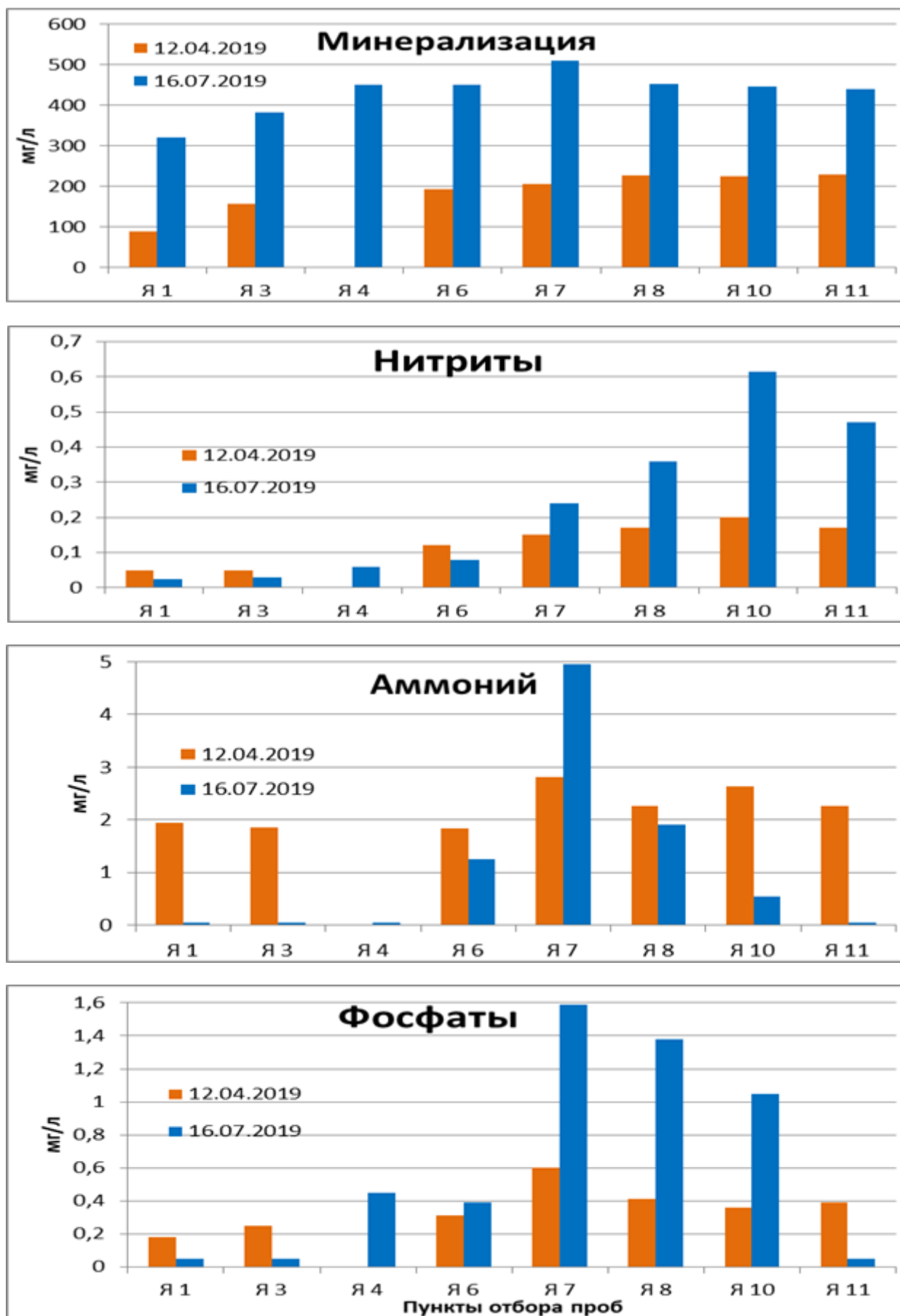


Рис. 1 – Диаграммы изменения минерализации и содержания биогенов в речной воде по продольному профилю реки Яхромы

Содержание биогенных элементов в речной воде постепенно увеличивается от истоков до начала массива Яхромской поймы (пункт Я-7), ниже наблюдается некоторая флуктуация в пределах массива мелиорации и снижение к устью. Максимальное содержание фосфатов и аммония приурочено к участку реки ниже сбросов сточных вод г. Дмитров.

В летний период (пробы отобраны 16.07.2019г.) картина распределения минерализации по створу реки похожа на ситуацию весеннего периода, но с более высокими значениями (от 321 до 509 мг/л). В верхнем течении реки биогенные загрязнители практически отсутствуют. В пределах поймы всплеск концентрации фосфатов и аммонийного азота приурочен к началу пойменного массива и обусловлен влиянием сточных вод. В тоже время на мелиорированной пойме наблюдается увеличение концентрации нитритов от 0,24 до 0,60 мг/л. В мелиоративной сети содержание нитритов изменяется в пределах 0,01-0,54 мг/л. Концентрации фосфатов в мелиоративной сети достигает 2,5 мг/л, нитритов – 0,54 мг/л, аммонийного азота – 6,44 мг/л, что значительно превышает рыбохозяйственные нормативы ПДК.

Это подтверждается детальными исследованиями, выполненными ранее А.В. Трифоновым [9], которые показали, что с дренажными водами выносятся за год: кальция 490 кг/га, магния 100 кг/га, азота минерального 16 кг/га, оксида фосфора 0,46 кг/га, оксида калия 8 кг/га. В дренажных водах осушительных систем содержатся также ионы кальция, магния, железа, азота, серы, хлоридов, калия, фосфора и кремния. Наибольшие концентрации наблюдались в периоды начала весеннего половодья. По данным исследований Е.Б. Стрельбицкой [10] поступление дренажных вод с осушаемого пойменного массива способствовало повышению концентраций ионов аммония в воде реки на участке ниже сбросов с осушительной системы, превышающих ПДК для рыбохозяйственных водоемов в среднем более 2-11,5 раз.

Полученные в 2019 году результаты подтверждают также результаты исследований, выполненные В.М.Яшиным в 2001-2005 гг. на мелиорируемом массиве Яхромской поймы [11], [12]. Анализ соотношения значений *электропроводности* речной воды Яхромы по сезонам года в створах «вход» на осушаемый массив и «выход» с него показал, что за счет разгрузки грунтовых вод и дренажного стока, имеющих повышенную концентрацию солей в зимне-весенние периоды на массиве происходит увеличение минерализации речного стока, т.е. идет вынос минеральных солей речным стоком с сельскохозяйственных земель и значения электропроводности на выходе с массива превышают электропроводность в начале массива мелиорации на 130-160 мкСм/см. В летние периоды за счет орошения и снижения минерализации дренажного стока наблюдается уменьшение электропроводности на выходе с массива на 32-91 мкСм/см;

Величина pH варьирует от 6,0 до 8,1 и имеет значение преимущественно в интервале от 7,0 до 7,7. Определенных закономерностей в изменениях pH для различных водных объектов не отмечается.

Наименьшими значениями содержания растворенного кислорода характеризуются артезианские (0,4–0,8 мг/л) и коллекторно-дренажные воды в устьях закрытых коллекторов (1–2 мг/л). В открытых мелиоративных каналах содержание растворенного кислорода не достигает нормативного (6,0 мг/л) уровня. В летние периоды максимальные значения содержания растворенного кислорода (6,1–8,3 мг/л) наблюдались в воде р. Яхромы в начале мелиорируемого массива, в воде канала им. Москвы и устьевой части Левого Нагорного канала, который обеспечивается притоком речных вод с левого борта долины [11].

Кроме того было установлено, что все компоненты ландшафта характеризуются загрязненностью различными химическими элементами в разных концентрациях. Диаграммы концентрации химических элементов в речных и коллекторно-дренажных водах показаны на рисунке 2.

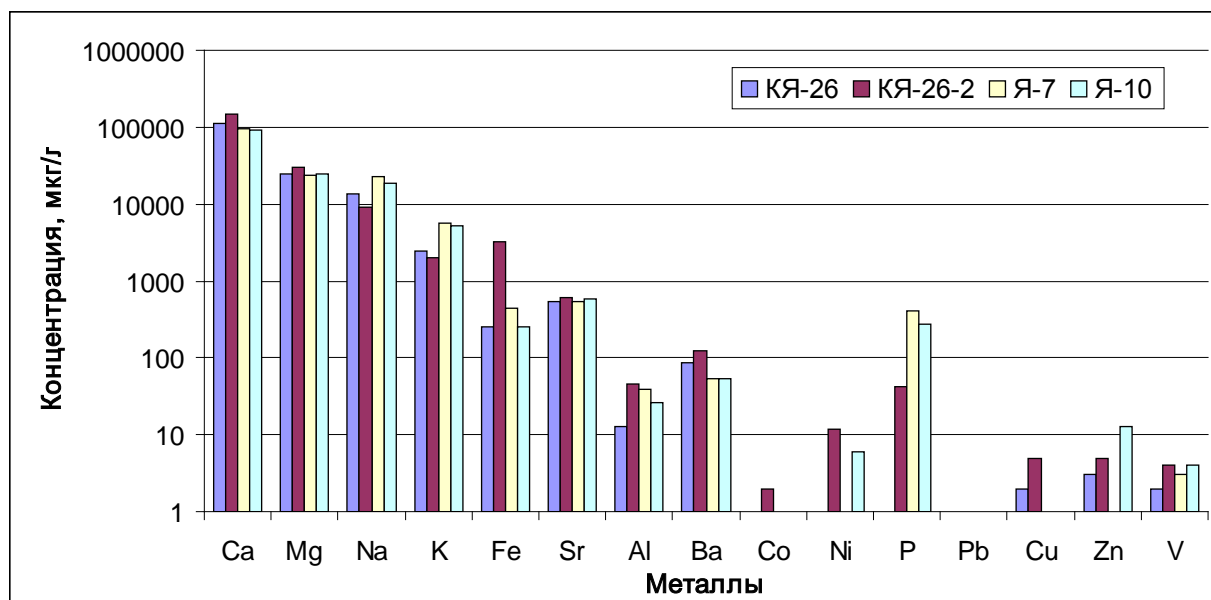


Рис. 2 – Диаграммы концентрации химических элементов в речной воде Яхромы (пункты Я-7 и Я-10) и в коллекторно-дренажном стоке (открытый коллектор КЯ-26 и закрытый коллектор КЯ-26-2)

По содержанию химических элементов в коллекторно-дренажных и речных водах выделяются 3 группы концентрации: более 1000 мкг/л (кальций, магний, натрий и калий, а железо – для коллекторно-дренажных вод); 100–999 мкг/л (железо, стронций, барий и фосфор) и концентрации до 99 мкг/л (тяжелые металлы: кобальт, медь, никель, свинец, цинк). Концентрации химических элементов в дренажном стоке за исключением железа и натрия превышают их содержание в речной воде, что указывает на потенциальную опасность загрязнения. Концентрации в стоке из закрытого коллектора, как правило, превышают концентрации в открытой сети. Следует отметить высокое

содержание общего фосфора в речной и дренажной воде, причем в речной воде, поступающей на массив, содержание фосфора выше, чем на выходе. Это указывает на наличие источников поступления фосфора выше по потоку.

Установлено загрязнение хлорорганическими соединениями дренажных (23 мкг/л) и речных (8,2 мкг/л) вод. Наличие торфяных почв определяет высокое содержание растворенного органического углерода в дренажном стоке (22,8 мг/л) [12].

#### Заключение

Выполнена оценка влияния диффузного загрязнения с сельскохозяйственных осушаемых территорий на качество речной воды малой реки. Показано, что минерализация речной воды за весь период наблюдений колебалась в пределах 89–509 мг/л с одинаковым градиентом увеличивалась от истоков к устью за счет поступления сточных вод с городов Яхрома и Дмитров и диффузного стока с сельскохозяйственного пойменного массива. Максимальные значения концентраций аммония и фосфатов в весенний и летний периоды приурочены к началу массива Яхромской поймы, что связано с поступлением в речные воды сточных вод г. Дмитрова, максимальные значения содержания нитритов отмечается на выходе с массива мелиорации, что обусловлено влиянием дренажного стока за счет использования минеральных удобрений при реализации агротехнологий. Наибольшее загрязнение речной воды наблюдается в летний период, наряду с повышением общей минерализации от 321 до 509 мг/л, увеличивается в воде количество биогенных веществ.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Джамалов Р.Г. Среднемноголетние особенности формирования химического состава и качества вод бассейна Волги / Р. Г. Джамалов, Т. И. Сафронова, М. М. Трофимчук и др. // Сборник научных трудов «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения». – Москва: Студия Ф1, 2019. С. – 68-74.
2. Gremm T.J. Qualität russischer Flüsse / T.J.Gremm, A Heidt, F.H. Fimmel // Chemie in unserer Zeit. – 2002. – №4. – 226-239
3. Техногенное загрязнение речных экосистем В.Н. Новосельцев и др. – М.: Научный мир. 2002. –140 .
4. Почвенно-геологические условия Нечерноземья. – М.: Изд. – во Моск. ун-та, 1984.–608 с.
5. Маслов Б.С. Мелиоративное районирование Нечерноземной зоны РСФСР / Б. С. Маслов, Е. Е. Панов, И. Д. Никитин // Гидротехника и мелиорация. –1977. –№4. – С. 73-80.
6. Кирейчева Л.В. Модели и информационные технологии управления водопользованием на мелиоративных системах, обеспечивающие благоприятный мелиоративный режим / Л. В. Кирейчева, И. Ф. Юрченко, В. М. Яшин // Мелиорация и водное хозяйство. –2014. –№ 5–6. –С. 50–55.
7. Вагнер Б. Б. Реки и озера Подмоскovie. – М.: Вече, 2006. –480 с.
8. Кузнецова Н.В. Оценка экологического состояния реки Яхрома по гидрохимическим показателям / Н. В. Кузнецова // Экосистемы: экология и динамика. –2017. Т. 1. –№3. –С. 100–115.
9. Трифонов В.А. Вынос химических веществ дренажным стоком с осушаемых пойменных почв и его регулирование: дис. канд. тех. наук. 06.01.02 : защищена 19.10.89 : утв. 1990 / Трифонов Владимир Алексеевич. – Москва: ВНИИГиМ., 1989.–329 с.
10. Стрельбицкая Е.Б. Изменение экологического состояния малых рек под воздействием сбросных вод с осушаемых агроландшафтов и пути его улучшения / Е. Б. Стрельбицкая, Н. В. Коломийцев // Мелиорация и водное хозяйство, Мелиорация и водное хозяйство. –2006. –№ 5. –С. 38–43.
11. Яшин В.М. Формирование качества дренажного стока на Яхромской пойме / В.М. Яшин // Мелиорация и водное хозяйство. –2017. –№ 6. –С. 21–26.
12. Яшин В.М. Загрязнение дренажного стока с мелиорируемых пойм / Яшин В.М. // Материалы международной конференции «Наукоемкие технологии в мелиорации. (Костяковские чтения)».–М. : Издательство ВНИИА, 2005. –С. 457–463.
13. Позднякова А.Д. Тяжелые металлы в компонентах мелиоративной сети Яхромской поймы / А. Д., Позднякова, Р. А. Бородкина, Д. А. Мусекаев, Т. В. Михеев // Материалы международной научной конференции «Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения».–М. : Издательство ВНИИА, 2016. –Т. II. –С. 232-234.

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

1. Dzhamalov R.G. Srednemyegoletnie osobennosti formirovaniya himicheskogo sostava i kachestva vod .bassejna Volgi [Long-term average characteristics of the formation of the chemical composition and quality of the waters of the Volga basin] / R. G. Dzhamalov, T. I. Safronova, M. M. Trofimchuk et al. // Collection of scientific papers "SCIENTIFIC PROBLEMS OF Health of the russian rivers and ways of their solution". –Moscow: Studio F1, 2019.P. - 68-74. [in Russian]
2. Gremm T.J. Qualität russischer Flüsse / T.J.Gremm, A Heidt, F.H. Fimmel // Chemie in unserer Zeit. – 2002. – №4. – 226-239
3. Tekhnogennoe zagryaznenie rechnykh ekosistem [Technogenic pollution of river ecosystems] V.N. Novoseltsev et al. - M.: Scientific World. 2002. –140. [in Russian]
4. Pochvenno-geologicheskie usloviya Nечernozem'ya [Soil and geological conditions of the Non-Black Earth Region]. - M.: Publishing House - in Moscow. Univ., 1984. – 608 p. [in Russian]
5. Maslov B.S. Meliorativnoe rajonirovanie Nечernozemnoj zony RSFSR [Reclamation zoning of the Non-chernozem zone of the RSFSR] / B.S. Maslov, E.E. Panov, I.D. –1977. –№4. - P. 73-80. [in Russian]
6. Kireicheva L.V. Modeli i informacionnye tekhnologii upravleniya vodopol'zovaniem na meliorativnykh sistemah, obespechivayushchie blagopriyatnyj meliorativnyj rezhim [Models and information technologies for water use management in reclamation systems providing a favorable reclamation regime] / L. V. Kireicheva, I. F. Yurchenko, V. M. Yashin // Land

reclamation and water management. 2014. –№ 5–6. –FROM. 50–55. [in Russian]

7. Wagner B. B. Reki i ozera Podmoskov'ya [Rivers and lakes of the Moscow region]. - М.: Veche, 2006. –480 p. [in Russian]

8. Kuznetsova N.V. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya reki YAhromy po gidrohimicheskim pokazatelyam [Assessment of the ecological state of the Yakhroma river by hydrochemical indicators] / N.V. Kuznetsova // Ecosystems: ecology and dynamics. 2017. V. 1. –№3. –FROM. 100-115. [in Russian]

9. Trifonov V.A. Vynos himicheskikh veshchestv drenazhnym stokom s osushaemykh pojmennykh pochv i ego regulirovanie: dis. kand. tekhn. nauk.: 06.01.02 : zashchishchena 19.10.89 : utv. 1990 [Removal of chemicals by drainage from drained floodplain soils and its regulation: dis. Cand. those. Sciences :. 01/06/02: protected 10/19/89: approved. 1990] / Trifonov Vladimir Alekseevich. - Moscow: VNIIGiM., 1989. –329 p. [in Russian]

10. Strelbitskaya E.B. Izmenenie ekologicheskogo sostoyaniya malyykh rek pod vozdeystviem sbrosnykh vod s osushaemykh agrolandshtv i puti ego uluchsheniya [Changes in the ecological state of small rivers under the influence of wastewater from drained agrolandscapes and ways to improve it] / E. B. Strelbitskaya, N. V. Kolomiyshev // Land reclamation and water management, Land reclamation and water management. 2006. –№ 5. –P. 38–43. [in Russian]

11. Yashin V.M. Formirovaniye kachestva drenazhnogo stoka na YAhromskoy pojme [Formation of the quality of drainage flow on the Yakhroma floodplain] / V.M. Yashin // Land reclamation and water management. 2017. –№ 6. –P. 21–26. [in Russian]

12. Yashin V.M. Zagryazneniye drenazhnogo stoka s melioriruemyykh pojm [Pollution of drainage flow from reclaimed floodplains] / Yashin V.M. // Materials of the international conference “High technology in land reclamation. (Kostyakov readings).” - М.: VNIIA Publishing House, 2005. –P. 457-463. [in Russian]

13. Pozdnyakova A.D. Tyazhelye metally v komponentakh meliorativnoy seti YAhromskoy pojmy [Heavy metals in the components of the reclamation network of the Yakhroma floodplain] / A. D., Pozdnyakova, R. A. Borodkina, D. A. Musekaev, T. V. Mikheev // Materials of the international scientific conference “Land reclamation and water economy: problems and solutions”. – М.: VNIIA Publishing House, 2016. –V. II. –FROM. 232-234. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.013>

## ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Научная статья

**Косенко Т.Г. \***

ORCID: 0000-0003-3978-3025,  
Донской ГАУ, Персиановский, Россия

\* Корреспондирующий автор (markos59[at]yandex.ru)

### Аннотация

В статье рассмотрены особенности эколого-экономических производственных отношений. Дан анализ использования земельных ресурсов. Необходимость перехода на ландшафтную систему связана с изменением качественного состояния земель, сохранением природных ландшафтов. Общественные мероприятия, направленные на рациональное использование природных ресурсов, предусматривают систему действий на сохранение природных ресурсов, улучшение продуктивности почв и других факторов производства.

Дана характеристика устойчивости культур и агрофонов к эрозионным процессам. Рассмотрены особенности производственной деятельности сельскохозяйственного предприятия. Дан анализ факторов интенсификации в отраслях земледелия. Определены показатели роста производства продукции, рационального использования ресурсов.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственное производство, агротехника, интенсивность, технология.

## ASSESSMENT OF USAGE OF NATURAL RESOURCES IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Research article

**Kosenko T.G. \***

ORCID: 0000-0003-3978-3025,  
Don SAU, Rostov Region, Persianovsky, Russia

\* Corresponding author (markos59[at]yandex.ru)

### Abstract

The paper discusses the features of environmental and economic production relations; the analysis of land use is given as well. The need to switch to a landscape system is associated with a change in the quality of land, and the preservation of natural landscapes. Social events aimed at the rational use of natural resources provide for a system of actions to preserve natural resources, improve soil productivity and other factors of production.

The author provides the features of the resistance of crops and cultivation histories to erosion processes; the features of the production activities of an agricultural enterprise are considered as well. The analysis of intensification factors in the branches of agriculture is given. The author determines the indicators of growth in production, and rational use of resources.

**Keywords:** agricultural production, agricultural technology, intensity, technology.

### Введение

Развитие общественного производства во многом зависит от рационального землепользования. Земельные ресурсы являются главным средством ведения сельскохозяйственного производства.

Использование природных ресурсов должно способствовать снижению затрат и повышению эффективности общественного производства [1]. Необходимо совершенствование производства, минимализация отходов, наиболее рациональное использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды.

Интенсификация сельского хозяйства должна осуществляться, прежде всего, на основе их более рационального использования ресурсов предприятия [2]. Оценка работы предприятия производится с учетом влияния природных, организационно-хозяйственных, экономических и финансовых факторов [3].

Рост эффективности сельскохозяйственного производства осуществляется за счет интенсивных факторов [4]. Урожайность сельскохозяйственных культур характеризует степень интенсивности сельского хозяйства [5]. Важно внедрение и освоение интенсивных технологий [6]. Основными направлениями совершенствования технологии является сокращение числа агротехнических приемов [7].

Важнейшим условием интенсификации является повышение квалификации работников. Наиболее полно процесс интенсификации проявляется при применении интенсивных технологий.

### Объекты и методы исследований

Основной целью исследования является определение значения совершенствования производства сельскохозяйственных культур в рациональном природопользовании.

Рассмотрены особенности ведения сельскохозяйственного производства в условиях ОАО «Нива Кубани» Брюховецкого района Краснодарского края. Широко использовался сравнительно-экологический метод исследования, сопоставляющий состояние реакции растений на внешнее воздействие в различные периоды вегетации.

Сельскохозяйственное производство характеризуется некоторыми особенностями, связанными с использованием земли, взаимодействием природных, экономических, социальных, биологических, технических и экологических процессов, своеобразием использования условий труда, направленного на накопление энергии.

Рациональное использование природных ресурсов предусматривает систему общественных мероприятий, направленных на сохранение и приумножение природных ресурсов, улучшение продуктивности почв и других факторов производства.

### Результаты исследования

Под влиянием существующей системы земледелия происходит ухудшение свойств почв, потеря их плодородия, разрушение природных ландшафтов. Основные причины – эрозия, переуплотнение, засоление, осолонцевание.

Оценка состояния земель Российской Федерации, занятых в сельскохозяйственном производстве представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Состояние сельскохозяйственных земель Российской Федерации

Показатели	Площадь, млн. га	Структура, %
Площадь с.-х. угодий	212,8	100
в т. ч. пашня	120,9	56,81
подвержено эрозии	53,7	25,23
в т. ч. водной	30,2	14,19
подвержено опустыниванию	9,4	4,41
песков	1,1	0,51
затоплено и переувлажнено	26,2	12,31
засолено и осолонцовано	40,6	19,07
засорено камнями	12,5	5,87
засорено кустарником	7,4	3,47
техногенно загрязнено тяжелыми металлами	5,1	2,39

Одним из важных факторов, влияющих на эффективность сельскохозяйственного производства, является размер предприятия. Этот показатель зависит от совокупности экономических, технических, технологических, организационных и природных условий.

ОАО «Нива Кубани» Брюховецкого района Краснодарского края имеет производственное направление скотоводческо-зерновое. Наибольший удельный вес в структуре товарной продукции занимает молоко – 41,9%, доля зерна 24,81%, сахарной свеклы – 23,99%.

В 2018 году фондообеспеченность ОАО «Нива Кубани» составила 144 тыс.руб. на 1 га с.-х. угодий, трудоемкость производства была 95,34 ч/ч на 1 га пашни. Фондоотдача 1,84 руб./руб., материалоотдача 1,65 руб./руб., трудоотдача 3496,45 руб. на 1 ч/час. На 100 га сельскохозяйственных угодий получено 1856,48 рублей прибыли.

Характеризуют размер предприятия показатели объема и стоимости валовой продукции, размеров земельной площади, эффективности ее использования, стоимости основных и оборотных средств, численности работников, поголовья скота и птицы.

Соотношение отдельных отраслей составляет производственную структуру хозяйства [8]. При рациональной структуре хозяйства сочетание отраслей обеспечивает наибольший выход продукции с единицы площади при наименьших затратах.

В зависимости от исходного материала и целей можно применять различные способы оценки растений [9]. Для анализа специализации рассчитывается удельный вес каждой отрасли в товарной и валовой продукции, структура посевных площадей, затрат труда, денежных поступлений и прибыли, основных средств, поголовья скота. Наиболее правильно характеризует специализацию предприятия структура товарной продукции.

Специализация сельского хозяйства получает свое выражение через установление правильных пропорций между основными, дополнительными и вспомогательными отраслями в зависимости от типа предприятий. При определении количества дополнительных отраслей необходимо учитывать особенности сельскохозяйственного производства с целью наиболее полного и производительного использования земельных угодий хозяйства.

Главным результатом всех приемов повышения плодородия почвы должно стать создание высококультурной пашни [10]. Правильная организация хозяйства оказывает существенное влияние на улучшение управления предприятием, повышение его эффективности [11].

Процесс интенсификации основывается на применении интенсивных технологий, использовании комплекса агротехнических и организационных мероприятий. Посев высокоурожайных сортов, сбалансированное питание растений за счет внесения удобрений, применения регуляторов роста и интегрированной системы защиты растений, оптимальные способы обработки почвы способствуют формированию стабильных урожаев.

Противоэрозионная обработка почвы, полосное размещение культур и хорошо развитая растительность устойчивых к ветровой эрозии культур позволяют значительно снизить и полностью приостановить разрушение верхнего слоя и вынос мелкозема в период пыльных бурь.

Резервы повышения производства сельскохозяйственной продукции в ОАО «Нива Кубани» представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Организационно-экономические резервы производства сельскохозяйственных культур в ОАО «Нива Кубани»

Показатели	Культуры		
	озимая пшеница	кукуруза	подсолнечник
1.Дополнительный выход продукции за счет резервов, ц	6125	801	2178
2.Повышение урожайности за счет резервов, ц/га	2,5	3	3,6
3.Дополнительный выход продукции с 1 га, руб.	2000	2760	5400
со всей площади, тыс. руб.	4900	736,92	3267
4.Себестоимость, тыс. руб.	77808	6346	16860
5.Общая сумма резерва, тыс. руб.	984	2988	1653

Данные о наличии совокупных ресурсов в хозяйстве лежат в основе определения уровня их использования. Показатель ресурсоемкости выражает соотношение между результатом производства (валовой продукцией) и функционирующими ресурсами.

#### Заключение

Правильный выбор технологии обработки почвы зависит от биологических особенностей культуры, размещения в севообороте, состояния почвы, сроков и количества осадков. Рациональное природопользование обеспечивает снижение затрат на продукцию, повышает эффективность производства.

Высокий уровень агротехники способствует очищению почвы от сорняков и возрастанию урожайности последующих культур, помогает хозяйству с меньшей площади получать больше продукции.

Интенсивное ведение сельскохозяйственного производства обеспечивает дополнительное использование более совершенных средств производства, более квалифицированного труда, повышение плодородия почв и на этой основе увеличения выхода продукции.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Агафонов Е. В. Особенности системы земледелия и баланс NPK в Ростовской области / Агафонов Е. В., Турчин В. В., Громаков А. А. и др. // Плодородие. 2015. №5. С. 35-36.
2. Финенко В.В. Эффективное ведение производства в новых условиях хозяйствования / Финенко В.В., Косенко Т.Г. // В сборнике: Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Пермь, 2014. С. 374 -375.
3. Пойда В.Б. Эффективность гербицидов и их смесей против амброзии полыннолистной на подсолнечнике CLEARFIELD / В.Б. Пойда, М.А. Збрайлов, Е.М. Фалынсков и др. // Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: материалы международной научно-практической конференции. - пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2016. - С. 147-151.
4. Косенко Т.Г. Особенности регионального природо-пользования В сборнике: Прогнозирование инновационного развития национальной экономики в рамках рационального природопользования / Косенко Т.Г. // Материалы V Международной научно-практической конференции: в 3-х частях. 2016. с. 180-192.
5. Косенко М. А. Выявление эффекта гетерозиса в селекции редьки / Косенко М. А.// Вестник Донского государственного аграрного университета. - 2015. - № 1-1 (15). - С. 29-34.
6. Пугач Е.И. Опыт применения минеральных удобрений и микробиологических препаратов под чечевицу в Ростовской области. / Пугач Е.И., Иванищева Н., Маньшина А. // В сборнике: Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур материалы международной научно-практической конференции. 2015. С. 91-95.
7. Нестеров Д.Н. Влияние органоминеральных удобрений и регуляторов роста на продуктивность ярового ячменя / Нестеров Д.Н., Соловьёва Е.М. // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 3 (59). С. 257-260.
8. Косенко Т.Г. Оценка эколого-экономической эффективности сельскохозяйственного производства. / Косенко Т.Г. // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2014. № 4-3 (14). С. 12-17.
9. Косенко М.А. Оценка приемов производства редьки европейской. В сборнике: Современные экономические системы в условиях глобализации: состояние и перспективы развития / Косенко М.А. Материалы международной научно-практической конференции. 2017. С. 183-187.
10. Севостьянова А.А. Влияние удобрений и биопрепаратов на урожайность и качество зерна кукурузы В сборнике: Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства / Севостьянова А.А., Турчин В.В., Каменев Р.А. // Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 78-81.
11. Фалынсков Е.М. Продуктивность гибридов кукурузы различных групп спелости в приазовской зоне Ростовской области / Фалынсков Е.М., Пойда В.Б., Збрайлов М.А. и др. // В сборнике: Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур материалы международной научно-практической конференции. 2015. С. 211-215.

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

1. Agafonov E.V. Osobennosti sistemy zemledeliya i balans NPK v Rostovskoy oblasti [Features of agricultural system and NPK balance in Rostov region] . Agafonov E.V., Turchin V.V., Gromakov A.A. et al. // Plodorodiye [Fertility]. – 2015. – No5. – P. 35-36. [in Russian]
2. Finenko V.V. Effektivnoye vedeniye proizvodstva v novykh usloviyakh khozyaystvovaniya/ [Effective production management in new business environment] / Finenko V.V., Kosenko T.G. // V sbornike: Molodezhnaya nauka 2014: tekhnologii, innovatsii [In the collection: Youth Science 2014: technology, innovation. Perm], – 2014. – P. 374-375. [in Russian]
3. Poyda V.B. Effektivnost' gerbitsidov i ikh smesey protiv ambrozii polynolistnoy na podsolnechnike CLEARFIELD [Effectiveness of herbicides and their mixtures against ragweed on CLEARFIELD sunflower] / V.B. Poyda, M.A. Zbrailov, E.M. Falynskov et al. // Innovatsii v tekhnologiyakh vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Innovations in crop cultivation technologies: proceedings of international scientific and practical conference]. – Persianovsky vil.: Don SAU, – 2016. – P. 147-151. [in Russian]
4. Kosenko T.G. Osobennosti regional'nogo prirodo-pol'zovaniya [Features of regional nature management] / Kosenko T.G. // V sbornike: Prognozirovaniye innovatsionnogo razvitiya natsional'noy ekonomiki v ramkakh ratsional'nogo prirodo-pol'zovaniya Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 3-kh chastyakh [In collection: Forecasting the innovative development of the national economy in the framework of environmental management. Materials of the V International scientific and practical conference: in 3 parts]. – 2016 – p. 180-192. [in Russian]
5. Kosenko M. A. Vyyavleniye effekta geterozisa v selektsii red'ki [Detection of heterosis effect in selection of radish] / Kosenko M. A. // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Don State Agrarian University]. – 2015. – No.1-1(15). – P. 29-34. [in Russian]
6. Pugach E.I. Opyt primeneniya mineral'nykh udobreniy i mikrobiologicheskikh preparatov pod chechevitsu v Rostovskoy oblasti [Experience in use of mineral fertilizers and microbiological preparations for lentils in Rostov region] / Pugach E.I., Ivanishcheva N., Manshina A. // V sbornike: Innovatsii v tekhnologiyakh vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [In the collection: Innovations in crop cultivation technologies materials of the international scientific-practical conference]. – 2015. – P. 91-95. [in Russian]
7. Nesterov D.N. Vliyaniye organomineral'nykh udobreniy i regul'yatorov rosta na produktivnost' yarovogo yachmenya [Influence of organic fertilizers and growth regulators on productivity of spring barley] / Nesterov D.N., Solovyova E.M. // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii [Modern scientific research and innovation]. – 2016. – No. 3 (59). – P. 257-260. [in Russian]
8. Kosenko T.G. Otsenka ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Assessment of environmental and economic efficiency of agricultural production] / Kosenko T.G. // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Don State Agrarian University]. – 2014. – No. 4-3 (14). – P. 12-17. [in Russian]
9. Kosenko M.A. Otsenka priyemov proizvodstva red'ki yevropeyskoy [Assessment of production methods of European radish] / Kosenko M.A. // V sbornike: Sovremennyye ekonomicheskiye sistemy v usloviyakh globalizatsii: sostoyaniye i perspektivy razvitiya [In the collection: Modern economic systems in the context of globalization: state and development prospects] / Kosenko M.A. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Materials of the international scientific-practical conference]. – 2017. – P. 183-187. [in Russian]
10. Sevostyanova A.A. Vliyaniye udobreniy i biopreparatov na urozhaynost' i kachestvo zerna kukuruzy [Influence of fertilizers and biological products on yield and quality of corn grain] / Sevostyanova A.A., Turchin V.V., Kamenev R.A. // V sbornike: Resursosberezheniye i adaptivnost' v tekhnologiyakh vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i pererabotki produktov rasteniyevodstva Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [In the collection: Resource conservation and adaptability in technologies for cultivating crops and processing crop products. Materials of the international scientific-practical conference]. – 2018. – P. 78-81. [in Russian]
11. Falynskov E.M. Produktivnost' gibridov kukuruzy razlichnykh grupp spelosti v priazovskoy zone Rostovskoy oblasti [Productivity of maize hybrids of different ripeness groups in Azov zone of Rostov region] / Falynskov E.M., Poyda V.B., Zbrailov M.A. et al // V sbornike: Innovatsii v tekhnologiyakh vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [In the collection: Innovations in crop cultivation technologies materials of the international scientific-practical conference]. – 2015. – P. 211-215. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.014>ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ  
МАЛООПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ФУНГИЦИДОВ ПРОТИВ ЖЕЛТОЙ РЖАВЧИНЫ В УСЛОВИЯХ  
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Научная статья

Матвеева И.П.<sup>1,\*</sup>, Ким Ю.С.<sup>2</sup>, Мирошниченко О.О.<sup>3</sup>, Волкова Г.В.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8696-5350;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-6239-0855;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-6584-9553;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-3696-2610;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», Краснодар, Россия

\* Корреспондирующий автор (irina.matveeva14[at]yandex.ru)

## Аннотация

Химический метод остается основным в системе интегрированной защиты растений. В 2019 году на территории Российской Федерации против желтой ржавчины пшеницы разрешено к применению 81 наименование моно- и поликомпонентных препаратов, большинство действующих веществ которых относятся к группам тиазолы и стробилурины. В статье приведены актуальные методы борьбы с желтой ржавчиной пшеницы, отмечены положительные и отрицательные стороны химических препаратов для защиты растений. В результате оценки биологической и хозяйственной эффективности двукратного применения препаратов Альтазол, КЭ, Адексар, КЭ и Зантара, КЭ в фазы трубкования (Z 33-37) и начала колошения (Z 49-51) было установлено снижение развития заболевания до 0,1-0,5 % и максимальная прибавка урожая по отношению к контролю до 5 %.

**Ключевые слова:** желтая ржавчина пшеницы, *Puccinia striiformis*, химический метод, биологическая эффективность, защита растений.

EVALUATION OF BIOLOGICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF MODERN LOW-HAZARD CHEMICAL  
FUNGICIDES AGAINST YELLOW RUST UNDER CONDITIONS OF KRASNODAR REGION

Research article

Matveeva I.P.<sup>1,\*</sup>, Kim Yu.S.<sup>2</sup>, Miroshnichenko O.O.<sup>3</sup>, Volkova G.V.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8696-5350;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-6239-0855;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-6584-9553;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-3696-2610;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Federal State Budget Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection",  
Krasnodar, Russia

\* Corresponding author (irina.matveeva14[at]yandex.ru)

## Abstract

The chemical method remains the main one in the integrated plant protection system. Eighty-one types of mono- and multicomponent preparations, in which the majority of the active substances belong to the thiazoles and strobilurins groups, are allowed for use in the territory of the Russian Federation against yellow rust of wheat in 2019. The paper describes the current methods to struggle with yellow rust of wheat; the positive and negative sides of chemicals for plant protection are noted as well. As a result of assessing the biological and economic effectiveness of the double use of such drugs as Altazol, KE, Adeksar, KE and Zantara, KE in the tubing phase (Z 33-37) and the beginning of heading (Z 49-51), a decrease in the development of the disease to 0.1-0.5 % was found, 5 % and maximum yield increase in relation to control up to 5 %.

**Keywords:** yellow rust of wheat, *Puccinia striiformis*, chemical method, biological effectiveness, plant protection.

Согласно статистике всемирной продовольственной организации FAO, зерновые колосовые культуры занимают четвертое место в мировой структуре посевных площадей, а недобор урожая от влияния вредных организмов (сорной растительности, вредителей и болезней) ежегодно достигает более 30 % [9, С. 1].

По данным Международного центра улучшения пшеницы и кукурузы CIMMYT, на пшенице встречаются 25 грибных, 3 бактериальных, 1 вирусное, 3 нематодных, 4 физиолого-генетических заболевания и 8 болезней, связанных с дефицитом минерального питания и прочими абиотическими факторами. [4, С. 3]. Для территории Российской Федерации найдены и описаны более 41 вида фитопатогенов на пшенице [1, С. 29-32], [6, С. 41].

Среди грибных возбудителей болезней особая роль принадлежит представителям рода *Puccinia* (ржавчины), три из которых способны поражать пшеницу: бурая ржавчина (*Puccinia triticina* Rob. ex Desm.), желтая ржавчина (*Puccinia striiformis* West.) и стеблевая ржавчина (*Puccinia graminis* Pers.).

Желтая ржавчина представляет серьезную угрозу для продовольственной безопасности многих стран планеты. Она распространена на большей части территории Северной и Южной Америки, Европы, Восточной, Центральной и Южной Азии, Северной Африки, Австралии. Около 72 % площадей посевов пшеницы по климатическим условиям пригодны для её развития, на 42 % патоген имеет стабильное развитие [10, С. 497].

На втором международном симпозиуме по желтой ржавчине пшеницы, проходившем в 2014 г. в Турции, Ханс Браун указал, что происходит стремительное увеличение ареала болезни. За 10 лет желтая ржавчина распространилась

в Азию и Восточную Африку, появились новые расы патогена, устойчивые к более высокой по отношению к оптимуму температуре. [3, С. 34-35].

По данным ежегодных маршрутных обследований посевов озимой пшеницы Краснодарского края, республики Адыгея, Ставропольского края и Ростовской области сотрудниками лаборатории иммунитета зерновых культур к грибным болезням (ФГБНУ ВНИИБЗР) отмечено ежегодное появление желтой ржавчины в четырех из пяти агроклиматических зон Северо-Кавказского региона. В сравнении с многолетними данными установлено, что степень развития заболевания до 2001 года составляла до 40 % (в южной предгорной зоне), а в последние годы варьировало от 0,2 до 3,5 % в зависимости от агроклиматической зоны, сорта и условий года [5, С. 109].

В 1960-1970-х годах Норман Эрнест Борлоуг (N. E. Borlaug) для борьбы с основными экономически значимыми болезнями предложил систему селекционных и агротехнологических мероприятий, позволившую повысить урожайность зерновых культур в ряде стран в 3–4 раза. [9, С. 3].

Современная защита растений в качестве мер борьбы и контроля над патогеном также предлагает несколько методов: селекционно-генетический (использование устойчивых сортов), агротехнический (соблюдение севооборотов и пространственной изоляции, уничтожение альтернативных хозяев и падалицы, выращивание сортосмесей), химический (применение моно- и поликомпонентных препаратов на основе действующих веществ из различных химических классов).

Химический метод защиты растений на сегодняшний день остается доминирующим в системе интегрированной защиты растений против ржавчин. По данным справочника агрохимикатов и пестицидов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации в 2019 году, всего зарегистрировано 81 торговое наименование фунгицидов против желтой ржавчины, действующие вещества которых принадлежат, в основном, к химическим классам стробилуринов и триазолов.

Целью нашего исследования стало определение биологической и хозяйственной эффективности трех современных малоопасных фунгицидов против желтой ржавчины пшеницы: Адексар, КЭ; Альтазол, КЭ; Зантара, КЭ.

#### **Материалы и методы исследований**

Эксперимент был заложен на сорте ГРОМ, восприимчивом к желтой ржавчине. Для создания искусственного инфекционного фона использовали споры северокавказской популяции *Puccinia striiformis*, собранные в различных агроклиматических зонах Краснодарского и Ставропольского краев, республики Адыгея и Ростовской области и размноженные в условиях теплицы. В исследования были включены три двухкомпонентных препарата с различными комбинациями действующих веществ: Адексар, КЭ (62,5 г/л флуксапироксада + 62,5 г/л эпоксиконазола), Альтазол, КЭ (250 г/л пропиконазола + 50 г/л ципроконазола), Зантара, КЭ (166 г/л тебуконазола + 50 г/л биксафена).

Опыт организовали на полевом стационаре ФГБНУ ВНИИБЗР, г. Краснодар. Площадь делянки составила 6 м<sup>2</sup>, повторность – трехкратная.

Искусственный инфекционный фон желтой ржавчины создали с помощью внесения спорово-тальной смеси из расчета 10 мг/м<sup>2</sup>. Инокулом вносили методом опыливания растений (фаза весеннего кущения) спорово-тальной смесью в пропорции 1:100 во второй декаде апреля на выпавшую росу (с учетом сохранения влаги на растениях в течение не менее 4 часов для эффективного заражения) [2, С.19].

Химическую обработку опытных делянок проводили двукратно (08.05 и 14.05.19) в фазу трубкования и начала колошения (Z33-37 и Z49-51) с помощью ручного ранцевого опрыскивателя.

Учеты проводили при первом проявлении болезни и с интервалом 7-10 дней до наступления высоких температур и перехода гриба в стадию сохранения (телиостадию). Степень поражения растений оценивали с использованием шкалы Peterson et.al, а также согласно Методическим указаниям по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве [2 С. 10], [7, С. 184]. Биологическую эффективность рассчитывали в процентах по формуле Эбота [8, С. 103]:

$$A = \frac{K - B}{K} \times 100$$

Где: А – биологическая эффективность, %;

К – конечная степень поражения в контроле (без обработки);

В – конечная степень поражения в опытном варианте.

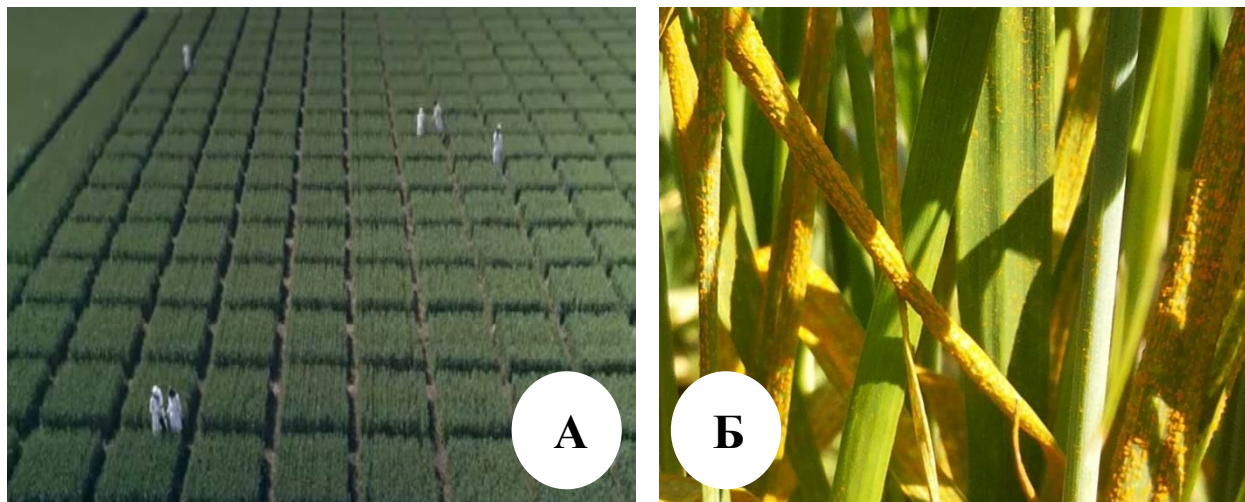


Рис. 1. – а) Полевой стационар испытаний химических средств защиты растений (ФГБНУ ВНИИБЗР, г. Краснодар), б) поражение растения желтой ржавчиной (ориг.)

### Результаты исследований

Установлено, что препараты триазольной группы Адексар, КЭ (62,5 г/л флуксапироксада + 62,5 г/л эпоксиконазола), Альтазол, КЭ (250 г/л пропиконазола + 50 г/л ципроконазола), Зантара (166 г/л тебуконазола + 50 г/л бикасфена) являются высокоэффективными в борьбе с желтой ржавчиной пшеницы (таблица 1.)

Таблица 1 – Динамика развития желтой ржавчины пшеницы на сорте ГРОМ и биологическая эффективность фунгицидов, опытное поле ФГБНУ ВНИИБЗР, 2019 г.

№ п/п	Варианты опыта	Кратность применения	Норма применения, л/га,	Степень поражения на дату учета, %.						
				8.05	14.05	Б.Э, %	22.05	Б.Э, %	29.05	Б.Э, %
1	Альтазол, КЭ	2-кратно	0,5	1,0	0,5	84,4	0,8	90,2	1,5	88,1
2	Адексар, КЭ		1,4	1,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,1	99,2
3	Зантара, КЭ		1,0	1,0	0,2	97,8	0,4	95,1	0,5	96,0
4	Контроль (без обработки)	-	-	1,0	3,2	-	8,2	-	12,6	-

Двукратное применение фунгицидов позволило достичь максимальных результатов по отношению к контролю без обработки, где степень развития болезни составила более 12,6 % и снизить развитие заболевания в опытных вариантах до 0,1-1,5 %. Биологическая эффективность по вариантам опыта составила от 88,1 до 99,2 % с максимальными показателями для фунгицида Адексар, КЭ с нормой применения 1,4 л/га.

В результате расчета хозяйственной эффективности прибавка урожая по отношению к контролю без обработки в варианте с Альтазол, КЭ составила 1,8 % или 1,3 ц/га; в варианте с Зантара, КЭ – 2,7 %, или 2,9 ц/га, с Адексар, КЭ – 4,3 % или 3,4 ц/га (таблица 2).

Таблица 2 – Хозяйственная эффективность фунгицидов на озимой пшенице сорт ГРОМ, ФГБНУ ВНИИБЗР, 2019 г.

№ п/п	Варианты опыта	Норма расхода, л/га	Масса 1000 семян		ц/га
			г	Прибавка к контролю %	
1	Альтазол, КЭ	0,5	35,1	101,8	56,9
2	Адексар, КЭ	1,4	37,2	104,3	58,3
3	Зантара, КЭ	1,0	36,7	102,7	57,4
4	Контроль (без обработки)	-	33,8	-	55,9

### Заключение

Ассортимент современных химических малоопасных фунгицидов представляет собой широкую линейку моно- и поликомпонентных препаратов и насчитывает 81 торговое наименование. Действующие вещества группы триазолов и стробилуринов позволяют надежно защищать озимую пшеницу от желтой ржавчины, значительно снижая развитие болезни.

Среди трех испытанных фунгицидов (Альтазол, КЭ; Адексар, КЭ; Зантара, КЭ) максимальные показатели биологической и хозяйственной эффективности были получены в опытном варианте Адексар, КЭ (62,5 г/л флуксапироксада + 62,5 г/л эпоксиконазола) с нормой применения 1,4 л/га. Против желтой ржавчины биологическая эффективность для данного препарата составила 99,2 %, прибавка урожая – 4,3 % или 3,4 ц/га.

Хотя применение синтетических препаратов показывает высокие результаты, следует помнить, что этот метод имеет и некоторые недостатки: пестициды загрязняют почву несвойственными ей соединениями, подавляют ее биологическую активность, нарушают состав популяций биоценозов и угнетают полезную фауну. При нерегламентированном применении препаратов в борьбе с патогенами возможно развитие прямой и перекрестной резистентности, для предупреждения которой необходимо использовать действующие вещества из различных химических классов, а также сорта, обладающие высокой и комплексной устойчивостью по отношению к фитопатогенам.

#### Финансирование

Исследования поддержаны грантом РФФИ р\_мол\_a 19-44-233008.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Funding

The research is supported by the RFBR grant No. r\_mol\_a 19-44-233008.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Анпилогова Л. К. Групповая устойчивость к возбудителям озимой пшеницы и пути ее усиления / Л. К. Анпилогова, Г. В. Волкова // Вестник защиты растений, 2000. - № 2. - С. 29-32.
2. Анпилогова Л. К. Методы создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредоносным болезням (фузариозу колоса, ржавчинам, мучнистой росе) / Л. К. Анпилогова, Г. В. Волкова // РАСХН ВНИИБЗР. – Краснодар, 2000. – 28 с.
3. Койшибаев М. Болезни пшеницы / М. Койшибаев // Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). Анкара – 2018. С.197
4. Койшибаев М. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур /М. Койшибаев, Х. Муминджанов // Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). Анкара – 2016. С. 28
5. Матвеева И.П. Желтая ржавчина пшеницы. Распространение, вредоносность, меры борьбы (обзор) / И.П. Матвеева, Г.В. Волкова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (46). С. 102-116.
6. Матвеева И.П. Устойчивость широко районированных сортов озимой пшеницы различной селекции к эпифитотийно опасным заболеваниям: бурой, желтой, стеблевой ржавчине и желтой пятнистости листьев пшеницы в Краснодарском крае / И.П. Матвеева, Ю.С. Ким, О.Ф. Ваганова, О.О. Мирошниченко, О.Ю. Кремнева, Г.В. Волкова // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 12-2 (78). С. 40-44.
7. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. Российская академия с.-х. наук. Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений. Под ред. В.И. Долженко. СПб., 2009, 379 с.
8. Новожилов, К.А. Методические указания по государственным испытаниям фунгицидов, антибиотиков и протравителей семян сельскохозяйственных культур / К.А. Новожилов. – М., 1985. – 130 с.
9. Санин С.С. Химическая защита пшеницы от болезней при интенсивном зернопроизводстве / С.С. Санин, А.А. Мотовилин, Л.Г. Корнева, Т.П. Жохова, Т.М. Полякова, Е.А. Акимова // Защита и карантин растений - №8 – 2011. С.3-10
10. Peterson, R.F., Campbell, A. & Hannah, A. (1948). A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. Canadian journal of research 26(5), 496-500.

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

1. Anpilogova L. K. Gruppovaya ustojchivost' k vozbuditelyam ozimoy pshenicy i puti ee usileniya [Group resistance to pathogens of winter wheat and ways to strengthen it]/ L. K. Anpilogova, G. V. Volkova // Vestnik zashchity rastenij [Plant Protection Bulletin], 2000. - № 2. - P. 29-32. [in Russian]
2. Anpilogova L. K. Metody sozdaniya iskusstvennyh infekcionnyh fonov i ocenki sortoobrazcov pshenicy na ustojchivost' k vredonosnym boleznyam (fuzariozu kolosa, rzhavchinam, muchnistoj rose) [Methods for creating artificial infectious backgrounds and assessing wheat varieties for resistance to harmful diseases (spike fusarium, rust, powdery mildew)] / L. K. Anpilogova, G. V. Volkova // RASKHN VNIIBZR. – Krasnodar, 2000. – 28 p. [in Russian]
3. Kojshibaev M. Bolezni pshenicy / M. Kojshibaev // Prodovol'stvennaya i sel'skohozyajstvennaya organizaciya OON (FAO). Ankara – 2018. S.197 [Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)] [in Russian]
4. Kojshibaev M. Metodicheskie ukazaniya po monitoringu boleznej, vreditel'ej i sornyh rastenij na posevah zernovyh kul'tur [Guidelines for monitoring diseases, pests and weeds in crops of grain crops] /М. Kojshibaev, H. Mumindzhanov // Prodovol'stvennaya i sel'skohozyajstvennaya organizaciya OON (FAO) [Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)]. Ankara – 2016. P. 28 [in Russian]
5. Matveeva I.P. Zheltaya rzhavchina pshenicy. Rasprostranenie, vredonosnost', mery bor'by (obzor) [Yellow rust of wheat. Distribution, harmfulness, control measures (review)] / I.P. Matveeva, G.V. Volkova // Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy]. 2019. № 2 (46). P. 102-116. [in Russian]
6. Matveeva I.P. Ustojchivost' shiroko rajonirovannyh sortov ozimoy pshenicy razlichnoj selekcii k epifitotijno opasnym zabolevaniyam: buroj, zheltaj, steblevoj rzhavchine i zheltaj pyatnistosti list'ev pshenicy v Krasnodarskom krae [Stability of widely distributed varieties of winter wheat of different selection to epiphytotically dangerous diseases: brown, yellow, stem rust, and yellow spots of wheat leaves in Krasnodar region] / I.P. Matveeva, YU.S. Kim, O.F. Vaganova, O.O. Miroshnichenko, O.YU. Kremneva, G.V. Volkova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. 2018. № 12-2 (78). P. 40-44. [in Russian]

7. Metodicheskie ukazaniya po registracionnym ispytaniyam fungicidov v sel'skom hozyajstve. Rossijskaya akademiya s.-h. nauk. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut zashchity rastenij [Guidelines for fungicides registration in agriculture. Russian Academy of Agricultural sciences. All-Russian Research Institute of Plant Protection] ed. V.I. Dolzhenko. SPb., 2009, 379 p. [in Russian]
8. Novozhilov, K.A. Metodicheskie ukazaniya po gosudarstvennym ispytaniyam fungicidov, antibiotikov i protravitelej semyan sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Guidelines for state testing of fungicides, antibiotics and seed dressers for crops] / K.A. Novozhilov. – M., 1985. – 130 p. [in Russian]
9. Sanin S.S. Himicheskaya zashchita pshenicy ot boleznej pri intensivnom zernoproizvodstve [Chemical plant protection of wheat from diseases in intensive grain production] / S.S. Sanin, A.A. Motovilin, L.G. Korneva, T.P. Zhohova, T.M. Polyakova, E.A. Akimova // Zashchita i karantin rastenij [Plant protection and quarantine] - №8 – 2011. P.3-10 [in Russian]
10. Peterson, R.F., Campbell, A. & Hannah, A. (1948). A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. Canadian journal of research 26(5), 496-500.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.015>

## РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ – ОСНОВА СОХРАНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОДУКТИВНОСТИ

Научная статья

Сухомлинова Н.Б.<sup>1,\*</sup>, Горбатенко К.И.<sup>2</sup>, Степаненко Д.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-5680-3617;

<sup>1, 2, 3</sup> Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Новочеркасск, Россия

\* Корреспондирующий автор (na\_bor[at]inbox.ru)

### Аннотация

В статье представлен анализ состояния земельных ресурсов с точки зрения подверженности их деградации в результате водной эрозии, вызывающей снижение почвенного плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур. Приведены опытные данные об интенсивности эрозионных процессов на черноземах обыкновенных на территории сельскохозяйственных угодий Ростовской области. Доказано, что проблема рационального использования земельных ресурсов для производства продукции растениеводства не только не теряет своей значимости, но и становится всё более актуальной, а её решение невозможно без создания устойчивых к воздействию процессов деградации агроландшафтов, обеспечивающих сохранение, а на отдельных участках и восстановление почвенного плодородия. Рассмотрены основные этапы проведения работ по адаптивно-ландшафтному устройству территории сельскохозяйственных угодий, создающему основу для проведения комплекса почвозащитных мероприятий, предложено внести проведение комплекса указанных мероприятий в список региональных приоритетов с соответствующим финансированием работ.

**Ключевые слова:** водная эрозия, почвенное плодородие, урожайность сельскохозяйственных культур, землепользование, адаптивно-ландшафтная организация территории, комплекс противоэрозионных мероприятий.

## RATIONAL ORGANIZATION OF CULTIVATED LAND – BASIS FOR CONSERVATION OF LAND RESOURCES AND INCREASING THEIR PRODUCTIVITY

Research article

Sukhomlinova N.B.<sup>1,\*</sup>, Gorbatenko K.I.<sup>2</sup>, Stepanenko D.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-5680-3617;

<sup>1, 2, 3</sup> Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, FSBEI of HE Don State Agricultural University, Novocherkassk, Russia

\* Corresponding author (na\_bor[at]inbox.ru)

### Abstract

The paper presents the analysis of the state of land resources from the point of view of their susceptibility to degradation as a result of water erosion, causing a decrease in soil fertility and crop yields. The author presents the experimental data on the intensity of erosion processes on ordinary chernozems on the territory of agricultural land in the Rostov region. It was proved that the problem of rational use of land resources for the production of crop production does not lose its significance but also becomes more urgent, and its solution is impossible without creating cultivated lands that are resistant to the effects of degradation, ensuring the conservation and, in some areas, restoration of soil fertility. The main stages of the work on the adaptive-landscape arrangement of the territory of cultivated lands, which creates the basis for a complex of soil protection measures, are considered; it is proposed to carry out a complex of these measures in the list of regional priorities with appropriate funding for the work.

**Keywords:** water erosion, soil fertility, crop productivity, land use, adaptive-landscape organization of the territory, a set of anti-erosion measures.

### Введение

Земельные ресурсы - основа производства сельскохозяйственной продукции. Их отличительной особенностью является то, что они ограничены в пространстве и различны по свойствам, основным из которых является продуктивность. В силу комплекса причин (процессы эрозии, урбанизация, загрязнение), площадь земельных ресурсов, в том числе их наиболее продуктивной части – сельскохозяйственных угодий, постоянно сокращается, что в будущем может привести к значительному снижению производства продуктов питания. Необходимо также учитывать, что в мире происходит стремительный рост численности населения. Так, по прогнозам ООН к 2050 году этот показатель достигнет 9,7 млрд чел., что не делает прогноз продовольственной безопасности населения многих стран оптимистичным [1, С.1].

Такое положение в полной мере присуще и Российской Федерации, где по данным Доклада о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения за период с 2000 - 2017 гг. площадь сельскохозяйственных угодий сократилась с 221 088,8 тыс. га до 197 739,3 тыс. га, т.е. на 10,6%, а пашни – с 124 373,8 тыс. га до 116 235,1 тыс. га, т.е. на 6,5% [2, С. 34], [3, С. 38], [4, С. 374]. Указанные угодья отводились для расширения и строительства населенных пунктов, под строительство новых и расширение территории уже действующих предприятий промышленности, транспорта и связи, нефтегазопроводов, придорожных торгово-промышленных комплексов и пр.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) (Food and Agriculture Organization, FAO) несмотря на то, что к 2050 г. планируется ввести в сельскохозяйственный оборот дополнительно

120 млн га пашни, не менее 50 млн. га выйдет из оборота в результате деградации (за последние 50 лет из-за нерационального использования деградировало около 25% земель), т.е. средняя по миру обеспеченность пашней снизится с 0,21 до 0,16 га/чел. [5]. Таким образом, деградация земель, в том числе, в результате процессов эрозии, является значимым фактором, влияющим на обеспечение продовольственной безопасности народонаселения.

В Российской Федерации по данным А.Н. Каштанова и других учёных ежегодный прирост площади эродированных почв в составе пахотных земель равняется в среднем 0,36%, достигая в некоторых регионах 1% [6, С. 15].

По состоянию на 2016 г. доля эродированных почв на пахотных землях в РФ находилась в интервале от 33,0% в Костромской области до 92,5% в Республике Ингушетия (рис. 1) [4, С. 74].

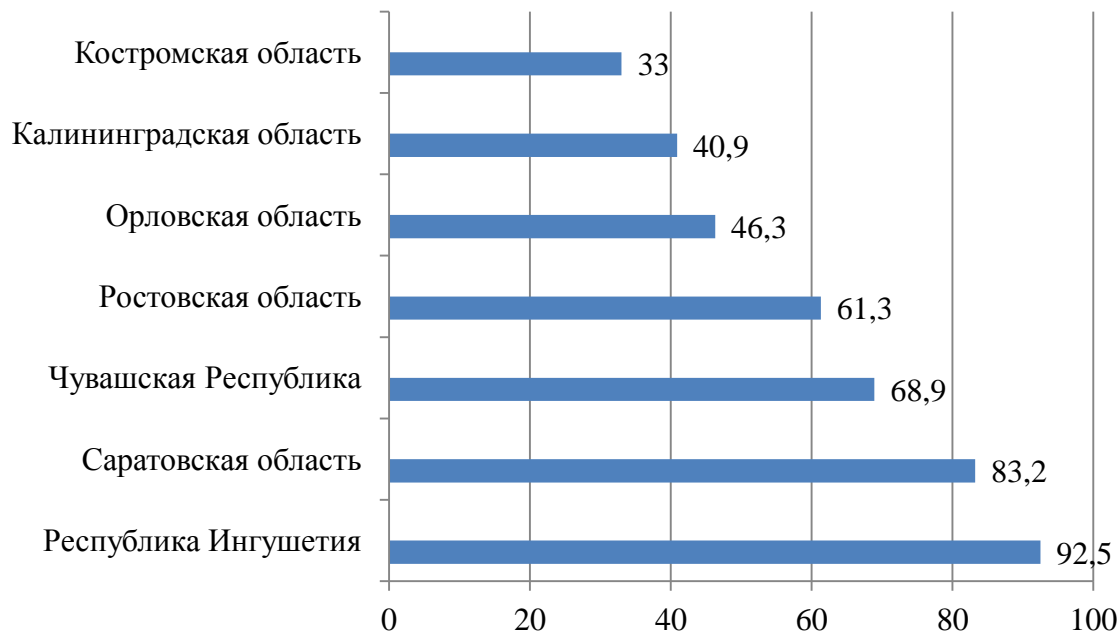


Рис. 1 – Распространение водной эрозии почв на территории Российской Федерации в 2016 г., %

Наряду с другими процессами деградации, именно эрозия почв вызывает падение почвенного плодородия, а, следовательно, снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Анализ результатов мониторинга плодородия пашни по содержанию органического вещества за период 2004-2011 гг. показал, что доля площади этого наиболее ценного сельскохозяйственного угодья с низким содержанием органического вещества составляет 31,2% на территории Российской Федерации и 45,3% в одном из её наиболее привлекательных для сельскохозяйственного производства регионов – Ростовской области (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты мониторинга плодородия пашни по содержанию органического вещества за период 2004-2011 гг. по состоянию на 1 января 2012 г. [3, С. 17-24]

Группировка почв по содержанию органического вещества, %	Российская Федерация, млн. га (всего обследовано 87,04 млн. га)	Ростовская область, тыс. га (всего обследовано 3783,35 тыс. га)
<1	0,74	0,135
1,01 - 1,5	3,72	77,55
1,51 - 2,0	7,99	263,88
2,01 - 2,5	7,52	623,20
2,51 - 3,0	7,19	750,01
3,01 - 4,0	18,16	1660,49
4,01 - 6,0	24,38	407,71
6,01 - 8,0	13,56	0,384
8,01 - 10,0	3,02	0
>10	0,76	0
Площадь с низким содержанием органического вещества	27,16	1714,77

Приведённые данные свидетельствуют, что доля пашни с низким содержанием органического вещества на обследованной площади Российской Федерации составляет более 31%, в Ростовской области – более 45%.

Таким образом, проблема рационального использования земельных ресурсов для производства продукции растениеводства не только не теряет своей значимости, но и становится всё более актуальной. На наш взгляд, её решение невозможно без создания устойчивых к воздействию процессов деградации агроландшафтов - севооборотных массивов, полей, рабочих участков и других элементов, обеспечивающих сохранение, а на отдельных

участках и восстановление почвенного плодородия, что будет способствовать успешному ведению сельскохозяйственного производства.

Методика проведения работ по адаптивно-ландшафтному устройству территории сельскохозяйственных угодий должна включать объективную оценку почвенных ресурсов и изменения их состояния (в т.ч. плодородие) на момент обследования, выявление причин этих изменений, а также разработку мероприятий (организационно-хозяйственные, агротехнические, лесомелиоративные и др.), направленных на сокращение процессов деградации и снижения почвенного плодородия с учётом экономических условий заказчика работ [7, С. 252-254], [8, С. 30-53], [9, С. 60]. С этой целью будет решаться комплекс таких задач как агроландшафтное картирование территории, её полевое комплексное обследование, составление проекта адаптивно-ландшафтной организации территории. Все проектные решения должны быть не только экономически обоснованы, но и позволять прогнозировать сохранение почвенного плодородия и увеличение производства и качества сельскохозяйственной продукции.

Наши исследования, проведённые на территории Ростовской области, показали, что в районах водной эрозии выделение агроландшафтных массивов на водосборной площади должно производиться таким образом, чтобы «в пределах каждого из них интенсивность эрозионных процессов была однотипной по динамическим показателям, что обуславливается требованиями обеспечения высокой степени территориальной адаптации отдельных элементов, из которых будет составлена система почвозащитных мероприятий» [12, С. 3,4]. Порядок выделения агроландшафтных массивов описан в разработанных нами рекомендациях [8, С. 23-30].

В таблице 2 приведены опытные данные об интенсивности эрозионных процессов на черноземах обыкновенных на территории агроландшафтных массивов, расположенных на подверженных процессам водной эрозии угодьях, которые показывают, что максимальная величина смыва наблюдается на пахотных землях. На средостабилизирующих угодьях (пастбища, сенокосы, лесные полосы) наибольшая величина смыва находится в пределах 2 т/га, за исключением интенсивно используемых пастбищ со сбитым травостоем.

Таблица 2 – Интенсивность эрозионных процессов на чернозёмах обыкновенных [12, С. 7]

Агроландшафтные полосы	Суммарный (от ливневых дождей и талых вод) смыв почвы, т/га			
	Пашня	Лесные полосы	Пастбища	Сенокосы
1-я	5,6	0	-	0,1
2-я	12,4	0,1	-	0,3
3-я	29,7	0,3	1,9	0,8
4-я	-	1,0	6,4	1,9

Наши исследования [7], [8], [12], а также проанализированный нами опыт применения почвозащитных мероприятий в России и за рубежом показали, что отдельными, даже самыми радикальными и эффективными приёмами невозможно добиться полной защиты пашни от смыва и выдувания, что, однако, не исключает необходимости комплексного воздействия почвозащитных мероприятий на водосбор в целом. Все элементы такого комплекса должны быть взаимно согласованы и дополнять друг друга на защищаемой территории. В глобальном масштабе необходимо разрабатывать стратегию рационального использования подверженных эрозии сельскохозяйственных угодий, и в первую очередь, пашни.

В настоящее время при проектировании противоэрозионных мероприятий используют понятие «допустимые эрозионные потери почвы» (soil loss tolerance), связанные со скоростью почвообразовательного процесса, которые сопоставляют с интенсивностью смыва (или выдувания) почвы на конкретных земельных участках (например, участках пашни). Поэтому стратегической задачей является снижение эрозионных потерь почвы до скорости почвообразования, после чего возможен переход к следующему этапу - решению вопроса увеличения мощности гумусового слоя почвы.

Анализ данных исследований учёных НИМИ ДГАУ [13, С. 53], позволяет сделать вывод о том, что для южных чернозёмов, занимающих значительную площадь на территории Ростовской области, мощность почвенного горизонта А+В+ВС составляет от 84,2% на слабосмытых до 44,7% на сильносмытых почвах по сравнению с величиной этого показателя на несмытых почвах, а запасы гумуса – от 71,7% до 21,7% соответственно (табл. 3).

Таблица 3 – Снижение показателей плодородия южных чернозёмов при смыве

Смытость	Мощность почвенного горизонта А+В+ВС		Запасы гумуса	
	см	%	т/га	%
Несмытые	76	100	350	100
Слабосмытые	64	84,2	251	71,7
Среднесмытые	50	65,8	180	51,4
Сильносмытые	34	44,7	76	21,7

Как указано выше, снижения потерь почвы в результате эрозии возможно добиться только при внедрении комплекса почвозащитных мероприятий: организационно-хозяйственных, агротехнических, лесомелиоративных, простейших гидротехнических, причём применение как отдельных из перечисленных мероприятий, так и всего комплекса, должно осуществляться строго на адаптивно-ландшафтной основе в процессе землеустроительного проектирования.

Необходимо отметить, что стоимость указанных мероприятий, как и полученный эффект от их применения, весьма различны. Наиболее экономически выгодным можно считать организационно-хозяйственные мероприятия, которые практически не требуют капитальных вложений и заключаются, в проектировании (разработка проекта землеустройства) рациональной организации территории, обеспечивающей условия для безопасного в эрозионном отношении ведения сельскохозяйственного производства и осуществления, при необходимости, полного комплекса указанных мероприятий. Агротехнические мероприятия также можно считать наиболее надёжными и достаточно быстро, в среднем 1-2 года, окупающимися. Однако наш опыт работы на землях сельскохозяйственных предприятий Ростовской области показывает, что часто этих мероприятий недостаточно.

Значительно более капиталоемкой является лесомелиорация. В зоне, подверженной водной эрозии, на территории пахотных земель, расположенных на склонах, возникает необходимость в проектировании стокорегулирующих лесных полос, расстояние между которыми зависит от крутизны склона. Так, на чернозёмах южных на склонах крутизной 1,5-2° расстояние между указанными лесными полосами составляет 230 м, крутизной 2-3° - 190 м, крутизной 3-4° - 170 м, на склонах крутизной 4-5° - 150 м. Конструкция таких лесных полос – плотная, их ширина от 15 м, поэтому они занимают значительную площадь. В указанных районах часто требуется и создание приовражных лесных полос, защищающих сельскохозяйственные угодья, в т.ч. пахотные массивы от поражения овражно-балочной сетью. Учитывая, что стоимость лесомелиоративных мероприятий оценивается более, чем в 75 тыс. руб. за один гектар лесной полосы, а срок окупаемости этих мероприятий составляет не менее 7 лет, защита земель сельскохозяйственного предприятия от водной эрозии является весьма дорогостоящей.

Простейшие гидротехнические сооружения (земляные валы, валы-канавы и др.), которыми часто дополняют лесомелиоративные мероприятия, весьма капиталоемки и часто недолговечны, требуют постоянного ухода, что влечёт дополнительные затраты. Именно поэтому их применение ограничено.

### Выводы

Одной из особенностей внедрения комплекса противоэрозионных мероприятий на адаптивно-ландшафтной основе является отсутствие «быстрой прибыли» от их применения. Несмотря на то, что в ст. 3 Закона «О землеустройстве» [14] указано, что в случае выявления земель, подверженных водной и ветровой эрозии, проведение землеустройства с целью защиты земель от указанных процессов деградации является обязательным, в современных условиях всё ещё формирующейся рыночной экономики необходимость материальных затрат является одним из наиболее важных факторов, заставляющих землепользователей избегать проведения таких работ. Между тем, как показали наши исследования, смыл плодородного слоя почвы с площади пашни на территории Ростовской области достигает 5,6-29,7 т/га в год, что приводит как к потере почвенного плодородия и снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Считаем, что учёт потерь продукции сельскохозяйственного производства и затрат на восстановление плодородия почв в результате развития водной эрозии в масштабах Ростовской области мог бы поставить проблему борьбы с этим процессом деградации в список региональных приоритетов при выделении капитальных вложений, что принесло несомненную выгоду как с экологической, так и с экономической точек зрения.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Доклад о народонаселении мира /Основные обзоры и доклады ООН в экономической и социальной областях [Электронный ресурс]. –URL: <https://www.un.org/ru>. (дата обращения: 20.01.2020)
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 148 с.
3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения / В.В. Абрамченко, К.Э. Котцев, О.А. Моторин и др. // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – М, 2012. – 225 с.
4. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2016 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 240 с.
5. Сценарии развития мирового рынка продовольствия до 2050 года: аналитический обзор /Международный независимый институт аграрной политики [Электронный ресурс]. – URL: <http://xn-80aplem.xn-p1ai/repository/analytics/329/document.pdf>. (дата обращения: 20.01.2020)
6. Каштанов, А.Н. Развитие исследований по эрозии и охране почв /А.Н. Каштанов, Л.Л. Шишов, М.С. Кузнецов // Сб. докл. Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Россельхозакадемии и 100-летию со дня рождения С.С. Соболева. Курск: Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН, 2004. С. 11-20.
7. Сухомлинова, Н.Б. Эколого-экономические аспекты адаптивно-ландшафтной организации территории водосбора балки Мостовой в Усть-Донецком районе Ростовской области [Электронные данные] / Н.Б. Сухомлинова, А.В. Суханова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 1 (29). – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/about> (дата обращения: 20.01.2020)
8. Полуэтов Е. В. Защита почв от эрозии и дефляции в Ростовской области [Текст]: рекомендации / Е. В. Полуэтов, Н. Б. Сухомлинова; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2017. – 67 с.
9. Максимов, В.П. Противоэрозионная обработка на склоновых землях Ростовской области [Текст] /В.П. Максимов, Н.П. Долматов и др. // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования / Под ред. В.В. Вишневого. – М: Академия Наук о Земле, 2015. – С. 60-61.
10. Status of the World's Soil Resources / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, 2015. – 608 p.

11. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106 / FAO. – Rome, 2015. – 192 p.

12. Полуэктов, Е.В. Особенности адаптивно-ландшафтной организации территории водосборного бассейна в современных условиях / Е.В. Полуэктов, Н.Б. Сухомлинова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – № 1(37). – 2020. – С. 1-16. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/about>. (дата обращения: 20.01.2020)

13. Полуэктов, Е.В. Почвенно-земельные ресурсы Ростовской области: монография / Е.В. Полуэктов, Е.М. Цвылёв. – Новочеркасск: УПЦ «НАБЛА» ЮРГТУ (НПИ), 2008. – 355 с.

14. О землеустройстве: Федеральный закон от 18 июня 2001 г. № 78-ФЗ: по состоянию на 3 августа 2018 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru>. (дата обращения: 20.01.2020)

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

1. World Population Report / Key UN reviews and reports in the economic and social fields [Electronic resource]. – URL: <https://www.un.org/en>. (accessed: 20.01.2020)

2. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Report on state and use of agricultural lands]. – М.: FSINI "Rosinformagroteh", 2011. – 148 p. [in Russian]

3. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Report on state and use of agricultural land] / V.V. Abramchenko, K.E. Kottsev, O.A. Motorin [et al.]: [Ministry of Agriculture of the Russian Federation]. – М., 2012. – 225 p. [in Russian]

4. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2016 godu [Report on status and use of agricultural land of the Russian Federation in 2016]. – М.: FSINI "Rosinformagroteh", 2018. – 240 p. [in Russian]

5. Stsenarii razvitiya mirovogo rynka prodovol'stviya do 2050 goda: analiticheskiy obzor [Scenarios for development of global food market until 2050: an analytical review] / Mezhdunarodnyy nezavisimyy institut agrarnoy politiki [International Independent Institute for Agricultural Policy] [Electronic resource]. – URL: <http://xn-80aplem.xn-plai/repository/analytics/329/document.pdf>. (accessed: 20.01.2020) [in Russian]

6. Kashtanov, A.N. Razvitiye issledovaniy po erozii i okhrane pochv [Development of studies on erosion and soil protection] / A.N. Kashtanov, L.L. Shishov, M.S. Kuznetsov // Sb. dokl. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu Rossel'khozakademii i 100-letiyu so dnya rozhdeniya S.S. Soboleva. Kursk: Vserossiyskiy NII zemledeliya i zashchity pochv ot erozii RASKHN [Col. of rep. International scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Russian Agricultural Academy and the 100th anniversary of the birth of S.S. Sobolev. Kursk: All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Protection from Erosion of the RAAS], – 2004. – P. 11-20. [in Russian]

7. Sukhomlinova, N.B. Ekologo-ekonomicheskiye aspekty adaptivno-landshaftnoy organizatsii territorii vodosbora balki Mostovoy v Ust'-Donetskom rayone Rostovskoy oblasti [Ecological and economic aspects of adaptive-landscape organization of catchment area of Mostovaya beam in the Ust'-Donetsk region of the Rostov Region] [Electronic data] / N.B. Sukhomlinova, A.V. Sukhanova // Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii [Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation]. – 2018. – No.1 (29). – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/about>. (accessed: 20.01.2020) [in Russian]

8. Poluektov, E. V. Zashchita pochv ot erozii i deflyatsii v Rostovskoy oblasti [Soil protection against erosion and deflation in Rostov region] [Text]: recommendations / E. V. Poluektov, N. B. Sukhomlinova; Novocherkass. reclamation engineer. Institute of Don SAU. – Novocherkassk: Lik, 2017. – 67 p. [in Russian]

9. Maksimov, V.P. Protivoerozionnaya obrabotka na sklonovykh zemlyakh Rostovskoy oblasti [Anti-erosion treatment on slope lands of the Rostov region] [Text] / V.P. Maximov, N.P. Dolmatov et al. // Trudy Mezhdunarodnogo Forumu po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya [Proceedings of the International Forum on the Problems of Science, Technology and Education] / Ed. by V.V. Vishnevsky. – М.: Academy of Earth Sciences, 2015. – P. 60-61. [in Russian]

10. Status of the World's Soil Resources / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, 2015. – 608 p.

11. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106 / FAO. – Rome, 2015. – 192 p.

12. Poluektov, E.V. Osobennosti adaptivno-landshaftnoy organizatsii territorii vodosbornogo basseyna v sovremennykh usloviyakh [Features of adaptive-landscape organization of catchment area in modern conditions] / E.V. Poluektov, N.B. Sukhomlinova // Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii [Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation]. – No. 1 (37). – 2020. – P. 1-16. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/about>. (accessed: 20.01.2020) [in Russian]

13. Poluektov, E.V. Pochvenno-zemel'nyye resursy Rostovskoy oblasti: monografiya [Soil and land resources of Rostov region: monograph] / E.V. Poluektov, E.M. Tsvylyov. – Novocherkassk: UOC "NABLA" SRSTU (NPI), 2008. – 355 p. [in Russian]

14. О землеустройстве [On land management]: Federal Law of June 18, 2001 No. 78-FZ: as of August 3, 2018 [Electronic resource]. – URL: <http://www.consultant.ru> (accessed: 20.01.2020) [in Russian]

**ВЛИЯНИЕ МЕЛАТОНИНА НА ОБМЕН ГАМК В СТРУКТУРАХ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС В РАННЕМ ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ В УСЛОВИЯХ ТОЛУОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ**

Научная статья

**Агаева С.В. \***

Азербайджанский Государственный Педагогический Университет, Баку, Азербайджан

\* Корреспондирующий автор (agaeva.samira.84[at]mail.ru)

**Аннотация**

Изучено влияние мелатонина на обмен ГАМК в различных тканях головного мозга месячных крыс в условиях интоксикации толуолом. Результаты наших исследований показали, что при воздействии толуола происходит увеличение содержания ГАМК, уменьшение содержания свободных Глу и Асп в различных структурах головного мозга месячных крыс. При этом активность ГДК повышается, активность ГАМК-Т понижается. После влияния мелатонина происходит частичное восстановление компонентов ГАМК при интоксикации толуолом. Мелатонин в головном мозге корректирует обмен ГАМК в условиях интоксикации толуолом.

**Ключевые слова:** мелатонин, толуол, гамма-аминомасляная кислота, глутаминовая кислота, аспарагиновая кислота, глутаматдекарбоксилаза, ГАМК-аминотрансфераза.

**THE EFFECT OF MELATONIN ON GABA EXCHANGE IN THE BRAIN STRUCTURES OF RATS IN EARLY POSTNATAL ONTOGENESIS UNDER THE CONDITIONS OF TOLUENE INTOXICATION**

Research article

**Agayeva S.V. \***

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

\* Corresponding author (agaeva.samira.84[at]mail.ru)

**Abstract**

The study investigated the effect of melatonin on GABA exchange in different tissues of the brain of 1-month-old rats under the conditions of toluene intoxication. As a result of the toluene effect, the content of GABA has increased and the content of Glu and Asp has decreased in different brain structures of 1-month-old rats. At the same time, the activity of the GAD has increased, and the activity of the GABA-T has decreased. The effect of melatonin under the conditions of toluene intoxication has led to a partial recovery of all the components involved in the GABA exchange. Melatonin corrects GABA exchange in brain in the context of toluene intoxication.

**Keywords:** melatonin, toluene, gamma-aminobutyric acid, glutamic acid, aspartic acid, glutamate decarboxylase, GABA-aminotransferase.

Toluene is a neurotoxin substance. Its chronic use causes functional and structural disorders of various organs. Toluene alters the lipid structure of the cell wall and interacts with proteins because of their lipophilic nature [1], [2]. The primary effect of exposure to toluene in people and animals is CNS depression. Abuse of toluene has been shown to cause persistent changes in neuronal dysfunction in brain structures. In animals exposure to toluene causes reduction in the proliferation of neurons in the hippocampus [3], loss of pyramid neurons [4], gliosis [5], and changes in the expression of NMDA receptor subtypes [6]. Neurohormone, neuromediator changes and changes in the functions of their receptors have been observed as a result of the effect of this ecotoxicant [7], [8].

There is an evidence that neurotoxicity of toluene is minimized by melatonin, which is a strong antioxidant and neurohormone derived from tryptophan amino acid [9].

Preparation of the necessary measures for correction of pathological processes and disorders in CNS during the influence of neurotoxicants is of great importance in theoretical and clinical medicine. To this end, it is of great interest to determine whether melatonin has the ability to correct changes in the metabolism of gamma-aminobutyric acid (GABA) in the brain in the context of toluene intoxication.

**Methods**

All experiments were conducted in accordance with the principles of the International Declaration of the European Union for the protection of animals used for experimental and other scientific purposes.

The experiments were conducted on 1 month-old white rats from Wistar line kept in vivarium under normal feeding conditions. The number of 1-month-old white rats used in the experiments was 60. The model of toluene intoxication was created by intraperitoneally (i.p.) injecting at a dose of 1000 mg/kg of toluene in animals [10].

Experimental animals were divided into the following groups: 1) control group (n=20); 2) experimental group. Experimental group animals were also divided into 2 subgroups: I subgroup - animals (n=20) exposed to toluene i.p. injection at 1000 mg/kg dose for 5 days, II subgroup - animals (n = 20) exposed to daily i.p. injection of melatonin at the dose of 10 mg/kg in toluene intoxication model (3 hours after toluene was i.p. injected at the dose of 1000 mg/kg for 5 days).

After the animals were decapitated, the brain was removed immediately and placed on ice. To brain was separated into the following structures - cortex of cerebral hemispheres, cerebellum, brain stem and hypothalamus according to the atlas of V.M.Svetukhina [11]. After brain tissue processing, [12], [13] separation of amino acids (GABA, Glu, Asp) was carried out on

a paper via electrophoresis method at pH3,5 in buffer mixture containing water-icy acetic acid-pyridine (44:8:1) [14]. The amino acids were separated for 4 hours at 350 V voltage and 12.5 mA.

To determine the activity of glutamatedecarboxylase (GAD), I.A.Sytsinski, T.N.Priyatkina [15] method was used and determined based on the change in the amount of GABA (mkmol GABA/g.hour). The activity of GABA-aminotransferase (GABA-T) was determined by the method of Nilova N.S. [16] and based on the change of Glu amount (mkmol Glu/g.hour). The results obtained were processed according to Fischer, Student by Wilcoxon non-parametric (Manna-Whitney) statistical method.

### Results and discussion

The results of the experiments showed that the content of GABA in the tissues of different brain structures of 1-month-old rats was  $2.48 \pm 0.08$  in the cortex of cerebral hemispheres,  $2.15 \pm 0.07$  in cerebellum,  $1.81 \pm 0.05$  in the brain stem,  $2.91 \pm 0.11$  mkmol/g in hypothalamus (table 1). Even after the administration of toluene (i.p.) at a dose of 1000 mg/kg for 5 days of 1-month-old rats, the content of GABA in all tissues of structures was 41-71% higher than control. Melatonin was administered at the dose of 10 mg/kg 3 hours after injection of toluene at the dose of 1000 mg/kg daily for 5 days in 1-month old rats. In this case, the content of GABA increased by 13% in the tissues of the cortex of cerebral hemispheres, by 25% in the cerebellum, by 18% in the brain stem and by 15% in the hypothalamus in comparison with control.

Table 1 – Effect of melatonin on the content of GABA, Glu and Asp in different structures of the brain in early postnatal ontogenesis in the context of toluene intoxication ( $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Brain structures	Groups	GABA	Glu	Asp
Cortex of cerebral hemispheres	Control	$2,48 \pm 0,08$	$4,42 \pm 0,13$	$2,93 \pm 0,10$
	Toluene	$3,87 \pm 0,11^{***}$	$2,96 \pm 0,09^{***}$	$1,85 \pm 0,07^{***}$
		156	67	63
	Toluene+melatonin	$2,80 \pm 0,07^*$	$3,93 \pm 0,09^*$	$2,55 \pm 0,09^*$
Cerebellum	Control	$2,15 \pm 0,07$	$4,73 \pm 0,16$	$2,77 \pm 0,11$
	Toluene	$3,68 \pm 0,15^{***}$	$2,84 \pm 0,07^{***}$	$1,63 \pm 0,08^{***}$
		171	60	59
	Toluene+melatonin	$2,69 \pm 0,09^{**}$	$3,83 \pm 0,13^{**}$	$2,16 \pm 0,08^{**}$
Brain stem	Control	$1,81 \pm 0,05$	$4,90 \pm 0,11$	$2,41 \pm 0,09$
	Toluene	$2,79 \pm 0,11^{***}$	$3,19 \pm 0,16^{***}$	$1,54 \pm 0,06^{***}$
		154	65	64
	Toluene+melatonin	$2,14 \pm 0,06^{**}$	$4,17 \pm 0,17^{**}$	$2,00 \pm 0,07^{**}$
Hypothalamus	Control	$2,91 \pm 0,11$	$5,45 \pm 0,17$	$3,35 \pm 0,13$
	Toluene	$4,10 \pm 0,14^{***}$	$4,03 \pm 0,18^{***}$	$2,41 \pm 0,10^{**}$
		141	74	72
	Toluene+melatonin	$3,35 \pm 0,10^*$	$4,91 \pm 0,15^*$	$3,05 \pm 0,09$
		115	90	91

Note: \* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$

In 1-month-old control rats, the amount of Glu was  $4.42 \pm 0.13$  in the tissue of the cortex of cerebral hemispheres,  $4.73 \pm 0.16$  in the cerebellum,  $4.90 \pm 0.11$  in the brain stem,  $5.45 \pm 0.17$  mkmol/g in the hypothalamus. In the context of toluene intoxication, the amount of Glu decreased by 26-40% compared to control. As a result of melatonin injection (i.p.) under the condition of toluene intoxication, the amount of this amino acid was reduced by 11% in the tissue of the cortex of cerebral hemispheres, by 19% in cerebellum, 15% in the brain stem and by 10% in the hypothalamus in comparison with control.

In 1-month-old control rats, Asp content was  $2.93 \pm 0.10$  in the tissue of the cortex of cerebral hemispheres,  $2.77 \pm 0.11$  in the cerebellum,  $2.41 \pm 0.09$  in the brain stem, and  $3.35 \pm 0.13$  mkmol/g in the hypothalamus. There has been a 28-41% decrease in Asp level under the condition of toluene intoxication. The administration of melatonin (i.p.) under the condition of toluene intoxication has led to a decrease in the incidence of Asp level under the condition of toluene intoxication. Under appropriate conditions, the amount of Asp decreased by 13% in the tissue of the cortex of cerebral hemispheres, by 22% in the cerebellum, by 17% in the brain stem and by 9% in the hypothalamus, compared with control.

The activity of GAD enzyme in 1-month-old control rats was  $62.46 \pm 3.87$  in the tissue of the cortex of cerebral hemispheres,  $75.05 \pm 3.69$  in the cerebellum,  $48.16 \pm 2.18$  in the brain stem and  $86.34 \pm 4.56$  mkmol GABA/g.hour in the hypothalamus (table 2). In the context of toluene intoxication, the activity of the GAD enzyme increased by 48-78% compared to the control. As a result of melatonin administration (i.p.) under the condition of toluene intoxication, the amount of this amino acid increased by 17% in the tissue of the cortex of cerebral hemispheres, by 27% in the cerebellum, by 21% in the brain stem and by 14% in the hypothalamus, compared with control.

In 1-month-old control rats, the activity of the GABA-T enzyme was  $60.27 \pm 2.79$  in the tissue of the cortex of cerebral hemispheres,  $69.63 \pm 3.52$  in the cerebellum,  $55.81 \pm 1.93$  in the brain stem, and  $76.08 \pm 3.37$  mkmol Glu/g.hour in the hypothalamus. In the context of toluene intoxication, the amount of GABA-T decreased by 29-47% compared to control. As a result of melatonin injection (i.p.) under the condition of toluene intoxication, the amount of this amino acid was reduced by 13% in the tissue of the cortex of cerebral hemispheres, by 17% in the cerebellum, by 14% in the brain stem and by 19% in the hypothalamus.

Table 2 – Effect of melatonin on the activity of GAD and GABA-T different structures of the brain in early postnatal ontogenesis in the context of toluene intoxication

Brain structures	Groups	GAD (mkmol GABA/g.hour)	GABA-T (mkmol Glu/g.hour)
Cortex of cerebral hemispheres	Control	62,46±3,87	60,27±2,79
	Toluene	94,35±4,37***	40,95±1,64***
		151	68
	Toluene+ melatonin	73,05±2,18*	52,41±1,76*
Cerebellum	Control	75,05±3,69	69,63±3,52
	Toluene	133,61±4,92***	36,94±1,50***
		178	53
	Toluene+ melatonin	95,30±2,84**	57,78±1,69*
Brain stem	Control	48,16±2,18	55,81±1,93
	Toluene	77,53±3,60***	32,95±1,67***
		161	59
	Toluene+ melatonin	58,28±1,67**	49,13±1,38*
Hypothalamus	Control	86,34±4,56	76,08±3,37
	Toluene	127,76±5,62***	54,09±1,93***
		148	71
	Toluene+ melatonin	98,43±2,27*	68,47±1,97
		114	90

Note: \* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ; \*\*\* -  $p < 0,001$

Toluene has a regional specific effect on the transmission of GABA to the central nervous system [17]. Increase of the activity of GAD enzyme involved in the synthesis of GABA in the tissues of different brain structures in the context of toluene intoxication compared to control, and decrease in the activity of the GABA-T enzyme involved in the breakdown of this amino acid, explains the increase in GABA content. The effects of toluene on the presynaptic transmission of GABA depend from the brain structures. Toluene has a more direct effect on cerebellar GABAergic neurons. A high concentration of GABA in mammalian brain tissue indicates that its role in nervous activity is not limited to mediator function only. GABA indicates a high plasticity of the exchange in the central nervous system.

Toluene, which is lipophilic, rapidly dissolves in tissues and organs, damages the biological membrane and affects the stability of proteins, lipids and chromatin. Studies [18] showed that the effect of toluene causes increase of induction of the active form of oxygen (AFO) and oxidative stress. Melatonin regulates antioxidant enzymes [19], [20].

In addition, Mattia et al. [18] showed that i.p. injection of toluene causes a significant increase in the rate of formation of oxygen-active forms (OAF) and reduction of glutathione (GSH) level in brain. OAF in turn damages lipids, proteins and nucleic acids. It causes neurodegenerative disorders that mediate behavioral changes. The acute and chronic effects of toluene on neurons have been well documented [18].

As a powerful cleanser from free radicals [21] melatonin reduces oxidative-induced neurotoxicity [22]. It has been shown that melatonin modulates specific plasticity patterns in hippocampal pyramid neurons [23]. Melatonin injection may provide neuroprotection against toluene neurotoxicity by directly cleaning off AFO and indirectly increasing antioxidant strength [9].

Brains of animals exposed to toluene vapor and treated with melatonin reduce their free radical production, oxidation of lipids, and gliosis [9]. In addition, poor neocortical dendritation has been shown to be restored by melatonin injection in animals exposed to toluene [24]. Melatonin provided the best neuroprotective properties in neocortical pyramid neurons [24].

The ability of melatonin to reduce the neurotoxicity of various substances has been documented and it has been shown that the neuroprotective effects of melatonin are associated with its free radical clearance [25, 26]. Influence melatonin increased GABA in brain [27]. GABA can protect the brain against oxidative stress [28].

### Conclusion

The results of our experiments showed that toluene intoxication resulted in an increase in the amount of GABA, a decrease in Glu levels, an increase in the activity of the GAD enzyme, and a decrease in the level of the GABA-T enzyme in the brain structures in comparison with control. It can be assumed that an increase in the amount of GABA in nerve cells is a compensatory reaction of the body during toluene intoxication. Changes in these levels were partially restored after melatonin administration in the context of toluene intoxication. Based on our findings, we can say that melatonin can prevent changes in the metabolism of toxicity in the context of toluene intoxication.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Calderon-Cuzman D. Effect of toluene and nutritional status on serotonin, lipid peroxidation levels and  $NA^{+}/K^{+}$ -ATPase in adult rat brain / Calderon-Cuzman D., I. Espitia-Vazquez, A. Lopez-Dominguez et al. // *Neurochemical Research*, - 2005. - Vol.30. - №5. - P. 619-624.
2. Cruz S.L. Review of toluene action: clinical evidence, animal studies and molecular targets / S. L. Cruz, M. T. Rivera-Garcia, J. J. Woodward // *J. Drug. Alcohol Res.* - 2014. - 3: 235840. doi: 10.4303/jdar/235840.
3. Seo H.S. Toluene inhibits hippocampal neurogenesis in adult mice / H. S. Seo, M. Yang, M. S. Song et al. // *Pharmacol. Biochem. Behav.* - 2010 - Vol. 94. - P. 588-594.
4. Korbo L. Neuronal loss in hippocampus in rats exposed to toluene / L. Korbo, O. Ladefoged, H. R. Lam et al. // *Neurotoxicology*. - 1996. - Vol. 17. - P. 359-366.
5. Gotohda T. Effect of toluene inhalation on astrocytes and neurotrophic factor in rat brain / T. Gotohda, I. Tokunaga, S. Kubo et al. // *Forensic science international*. - 2000. Vol. - 113. - P. 233- 238.
6. Bale A.S. Alterations in glutamatergic and gabaergic ion channel activity in hippocampal neurons following exposure to the abused inhalant toluene / A. S. Bale, Y. Tu, E.P. Carpenter-Hyland et al. // *Neuroscience* - 2005. - Vol. 130 - P. 197-206.
7. Perrine S.A. Binge toluene exposure alters glutamate, glutamine and GABA in the adolescent rat brain as measured by proton magnetic resonance spectroscopy / Perrine S.A., O'Leary-Moore S.K., Galloway M.P. et al. // *Drug and alcohol dependence*. - 2011. - Vol. 115. - №1-2. - P.101-106.
8. Shonagh K. O'L. Neurochemical Changes after Acute Binge Toluene Inhalation in Adolescent and Adult Rats: A High-Resolution Magnetic Resonance Spectroscopy Study / K. O'L Shonagh, P. G. Matthew, P. Mc. Andrew et al // *Neurotoxicol Teratol.* - 2009. - Vol. 31. - № 6. - P. 382-389.
9. Baydas G. Melatonin protects the central nervous system of rats against toluene-containing thinner intoxication by reducing reactive gliosis / G. Baydas, R. J. Wieraszko, V. S. Nedzvetskii et al // *Toxicol. Lett.* - 2003. - Vol. 137. - P. 169-174.
10. Dyer R.S. Acute exposures to p-xylene and toluene alter visual information processing / R. S. Dyer, M. S. Bercegeay, L. M. Mayo // *Neurotox. Teratol.* - 1988. - Vol. 10. - P. 147-153.
11. Свєгухина В.М. Цитоархитектоника новой коры мозга в отряде грызунов // *Архив анатомии, эмбриологии и гистологии*. - 1962. - Т. 42. - № 2. - С. 31-45.
12. Robert E. Gamma-aminobutyric acid in brain: its formation from glutamic acid / E. Robert, S. Frankel // *J.Biol. Chem.* - 1950. - Vol. 187. - №1. - P. 55-63.
13. Shatunova N. F. On the intracellular localization of glutamate decarboxylase and gamma-aminobutyric acid in mammalian brain / N. F. Shatunova, I. A. Sytinsky // *J. Neurochem.* - 1964. - Vol. 11. - P. 701-708
14. Doze K. Die Anwendung der Hochspannungssphographie bei der quantitativen Totalanalyse von Proteinhydrolysaten / K. Doze // *Mittellung Biochem. Z.* - 1957. - Vol. 329. - № 2. - P. 390-398.
15. Sytinsky I. A. Effect of certain drugs on gamma-aminobutyric acid system on central nervous system / I. A. Sytinsky, T. N. Priyatkina // *Biochem. Pharmacol.* - 1966. - Vol. 115. - № 1 - P. 49-57.
16. Нилова Н. С. Аммиак и ГАМК-трансаминазная активность ткани головного мозга / Н. С. Нилова // *Докл. АН СССР*. - 1966. - Т. 2. - С. 483-486.
17. Stengard K. Acute toluene exposure increases extracellular GABA in the cerebellum of rat: a microdialysis study / K. Stengard, R. Tham, W. T. O'Connor et al // *Pharmacology & Toxicology* - 1993 - Vol. 73 - P. 315-318.
18. Mattia C.J. Toluene-induced oxidative stress in several brain regions and other organs / C. J. Mattia, S. F. Ali, S. C. Bondy // *Mol Chem Neuropathol.* - 1993. - Vol. 3. - P. 313-328.
19. Reiter R.J. Melatonin reduces oxidative/nitrosative stress due to drugs, toxins, metals and herbicides / R. J. Reiter, A. Korkmaz, S. D. Paredes et al // *Neuroendocrinol. Lett.* - 2008. - Vol. 29. - P. 101-105.
20. Reiter R.J. Melatonin combats molecular terrorism at the mitochondrial level / R. J. Reiter, S. D. Paredes, A. Korkmaz et al // *Interdisc. Toxicol.* - 2008. - Vol. 1. - P. 137-149.
21. Allegra M. The chemistry of melatonin's interaction with reactive species / M. Allegra, R. J. Reiter, D. X. Tan et al // *J. Pineal Res.* - 2003. - Vol. 34. - P. 1-10.
22. Baydas G. Inhibitory effects of melatonin on neural lipid peroxidation induced by intracerebroventricularly administered homocysteine / G. Baydas, S. Kutlu, M. Naziroglu et al // *J. Pineal Res.* - 2003. - Vol. 34. P. 36-39.
23. EL-Sherif Y. Melatonin regulates neuronal plasticity in the hippocampus / Y. EL-Sherif, J. Tesoriero, M. V. Hogan, A. Wieraszko // *J. Neurosci Res.* - 2003. - Vol. 72. - P. 454-460.
24. Pascual R. Melatonin ameliorates neocortical neuronal dendritic impairment induced by toluene inhalation in the rat / R. Pascual, S. Zamora-Leon, N. Perez et al // *Exp. Toxicol. Pathol.* - 2010 - doi: 10.1016/j.etp.201003.006.
25. Stankov B. Melatonin signal transduction and mechanism of action in the central nervous system: using the rabbit cortex as a model / B. Stankov, G. Biella, C. Panara et al // *Endocrinology* - 1992. - Vol. 130. - P. 2152- 2159
26. Alghamdi B. S. The neuroprotective role of melatonin in neurological disorders / B. S. Alghamdi // *J. Neuro. Res.* - 2018. - Vol. 96. - P. 1136-1149.
27. Niles L.P. Melatonin Interaction with BZ-GABA<sub>A</sub> Receptors /L. P. Niles // *Sleep and Sleep Disorders*. - 2006. - P. 95-99.
28. Eltahawy N. A. Gamma Amino Butyric Acid Attenuates Brain Oxidative Damage Associated with Insulin Alteration in Streptozotocin-Treated Rats / N. A. Eltahawy, H. N. Saada, A. S. Hammad // *Ind J. Clin. Biochem.* - 2017. - Vol. 32. - № 2. - P. 207-213.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Calderon-Cuzman D. Effect of toluene and nutritional status on serotonin, lipid peroxidation levels and NA+/K+-ATPase in adult rat brain / Calderon-Cuzman D., I. Espitia-Vazquez, A. Lopez-Dominguez et al. // *Neurochemical Research*, - 2005. - Vol. 30. - № 5. - P. 619-624.
2. Cruz S.L. Review of toluene action: clinical evidence, animal studies and molecular targets / S. L. Cruz, M. T. Rivera-Garcia, J. J. Woodward // *J. Drug. Alcohol Res.* - 2014. - 3: 235840. doi: 10.4303/jdar/235840.
3. Seo H.S. Toluene inhibits hippocampal neurogenesis in adult mice / H. S. Seo, M. Yang, M. S. Song et al // *Pharmacol. Biochem. Behav.* - 2010 - Vol. 94. - P. 588-594.
4. Korbo L. Neuronal loss in hippocampus in rats exposed to toluene / L. Korbo, O. Ladefoged, H. R. Lam et al // *Neurotoxicology*. - 1996. - Vol. 17. - P. 359-366.
5. Gotohda T. Effect of toluene inhalation on astrocytes and neurotrophic factor in rat brain / T. Gotohda, I. Tokunaga, S. Kubo et al // *Forensic science international*. - 2000. Vol. 113. - P. 233- 238.
6. Bale A.S. Alterations in glutamatergic and gabaergic ion channel activity in hippocampal neurons following exposure to the abused inhalant toluene / A. S. Bale, Y. Tu, E.P. Carpenter-Hyland et al // *Neuroscience* - 2005. - Vol. 130 - P. 197-206.
7. Perrine S.A. Binge toluene exposure alters glutamate, glutamine and GABA in the adolescent rat brain as measured by proton magnetic resonance spectroscopy / Perrine S.A., O'Leary-Moore S.K., Galloway M.P. et al. // *Drug and alcohol dependence*. - 2011. - Vol. 115. - №1-2. - P.101-106.
8. Shonagh K. O'L. Neurochemical Changes after Acute Binge Toluene Inhalation in Adolescent and Adult Rats: A High-Resolution Magnetic Resonance Spectroscopy Study / K. O'L Shonagh, P. G. Matthew, P. Mc. Andrew et al // *Neurotoxicol Teratol.* - 2009. - Vol. 31. - № 6. - P. 382-389.
9. Baydas G. Melatonin protects the central nervous system of rats against toluene-containing thinner intoxication by reducing reactive gliosis / G. Baydas, R. J. Wieraszko, V. S. Nedzvetskii et al // *Toxicol. Lett.* - 2003. - Vol. 137. - P. 169-174.
10. Dyer R.S. Acute exposures to p-xylene and toluene alter visual information processing / R. S. Dyer, M. S. Bercegeay, L. M. Mayo // *Neurotox. Teratol.* - 1988. - Vol. 10. - P. 147-153.
11. Svetukhina V.M. Tsitoarkhitektonika novoy kory mozga v otryade gryzunov [Cytoarchitectonics of the Neocortex in Rodents]. *Arkhiv anatomii, embriologii i gistologii*, 1962, vol. 42, no. 2, pp. 31-45. [in Russian]
12. Robert E. Gamma-aminobutyric acid in brain: its formation from glutamic acid / E. Robert, S. Frankel // *J.Biol. Chem.* - 1950. - Vol. 187. - №1. - P. 55-63.
13. Shatunova N. F. On the intracellular localization of glutamate decarboxylase and gamma-aminobutyric acid in mammalian brain / N. F. Shatunova, I. A. Sytinsky // *J. Neurochem.* - 1964. - Vol. 11. - P. 701-708
14. Doze K. Die Anwendung der Hochspannungssphographie bei der quantitativen Totalanalyse von Proteinhydrolysaten / K. Doze // *Mittellung Biochem. Z.* - 1957. - Vol. 329. - № 2. - P. 390-398.
15. Sytinsky I. A. Effect of certain drugs on gamma-aminobutyric acid system on central nervous system / I. A. Sytinsky, T. N. Priyatkina // *Biochem. Pharmacol.* - 1966. - Vol. 115. - № 1 - P. 49-57.
16. Nilova N. S. Ammiak i GAMK-transaminaznaya aktivnost' tkani golovnog mozga [Ammonia and GABA transaminase activity of brain tissue] / N. S. Nilova // *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*. - 1966. - V. 2. - P. 483-486. [in Russian].
17. Stengard K. Acute toluene exposure increases extracellular GABA in the cerebellum of rat: a microdialysis study / K. Stengard, R. Tham, W. T. O'Connor et al // *Pharmacology & Toxicology* - 1993. - Vol. 73 - P. 315-318.
18. Mattia C.J. Toluene-induced oxidative stress in several brain regions and other organs / C. J. Mattia, S. F. Ali, S. C. Bondy // *Mol Chem Neuropathol.* - 1993. - Vol. 3. - P. 313-328.
19. Reiter R.J. Melatonin reduces oxidative/nitrosative stress due to drugs, toxins, metals and herbicides / R. J. Reiter, A. Korkmaz, S. D. Paredes et al. // *Neuroendocrinol. Lett.* - 2008. - Vol. 29. - P. 101-105.
20. Reiter R.J. Melatonin combats molecular terrorism at the mitochondrial level / R. J. Reiter, S. D. Paredes, A. Korkmaz et al // *Interdisc. Toxicol.* - 2008. - Vol. 1. - P. 137-149.
21. Allegra M. The chemistry of melatonin's interaction with reactive species / M. Allegra, R. J. Reiter, D. X. Tan et al // *J. Pineal Res.* - 2003. - Vol. 34. - P. 1-10.
22. Baydas G. Inhibitory effects of melatonin on neural lipid peroxidation induced by intracerebroventricularly administered homocysteine / G. Baydas, S. Kutlu, M. Naziroglu et al // *J. Pineal Res.* - 2003. - Vol. 34. P. 36-39.
23. EL-Sherif Y. Melatonin regulates neuronal plasticity in the hippocampus / Y. EL-Sherif, J. Tesoriero, M. V. Hogan, A. Wieraszko // *J. Neurosci Res.* - 2003. - Vol. 72. - P. 454-460.
24. Pascual R. Melatonin ameliorates neocortical neuronal dendritic impairment induced by toluene inhalation in the rat / R. Pascual, S. Zamora-Leon, N. Perez et al // *Exp. Toxicol. Pathol.* - 2010 - doi: 10.1016/j.etp.201003.006.
25. Stankov B. Melatonin signal transduction and mechanism of action in the central nervous system: using the rabbit cortex as a model / B. Stankov, G. Biella, C. Panara et al. // *Endocrinology* - 1992. - Vol. 130. - P. 2152-2159
26. Alghamdi B. S. The neuroprotective role of melatonin in neurological disorders / B. S. Alghamdi // *J. Neuro. Res.* - 2018. - Vol. 96. - P. 1136-1149.
27. Niles L.P. Melatonin Interaction with BZ-GABA<sub>A</sub> Receptors /L. P. Niles // *Sleep and Sleep Disorders*. - 2006. - P. 95-99.
28. Eltahawy N. A. Gamma Amino Butyric Acid Attenuates Brain Oxidative Damage Associated with Insulin Alteration in Streptozotocin-Treated Rats / N. A. Eltahawy, H. N. Saada, A. S. Hammad // *Ind J. Clin. Biochem.* - 2017. - Vol. 32. - № 2. - P. 207-213.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.017>

# ПЕРВИЧНЫЕ ИНТРОДУКЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ САДОВЫХ ФОРМ ХВОЙНЫХ СЕМЕЙСТВА CUPRESSACEAE RICH. EX ARTL. В ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЕ

Научная статья

Мамытова М.Т.<sup>1</sup>, Ахматов М.К.<sup>2\*</sup>, Абдрашитова Ж.К.<sup>3</sup><sup>1,3</sup> Ботанический сад им. Э.З.Гареева Национальной Академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Киргизия;<sup>2</sup> Кыргызский Государственный Университет им. И. Арабаева, Бишкек, Киргизия

\* Корреспондирующий автор (medet60[at]mail.ru)

## Аннотация

В статье приводятся результаты первичных интродукционных испытаний садовых форм хвойных семейства *Cupressaceae* Rich. ex Bartl. в Чуйской долине. Исследования проведены с 9 садовыми формами *Thuja occidentalis* L., 5 – *Juniperus* L., 3 – *Chamaecyparis* Spach. и 2 – *Cryptomeria japonica* Don. Посадочный материал получен саженцами и черенками Черенки укореняли с помощью стимуляторов роста. В последующем укорененные черенки высаживали в открытый грунт. Различные формы характеризуются низкой, средней и высокой зимостойкостью и скоростью роста. Садовые формы хвойных семейства *Cupressaceae* Rich. ex Bartl., за исключением двух форм криптомерии и *Thuja occidentalis* “Smaragd” успешно прошли первичные интродукционные испытания в Чуйской долине.

**Ключевые слова:** интродукция, зимостойкость, садовые формы, рост, высота.

# PRIMARY INTRODUCTION TESTS OF GARDEN FORMS OF CONIFERS OF CUPRESSACEAE RICH. EX ARTL FAMILY IN CHUYA VALLEY

Research article

Mamytova M.T.<sup>1</sup>, Akhmatov M.K.<sup>2\*</sup>, Abdrashitova Zh.K.<sup>3</sup><sup>1,3</sup> Botanical Garden named after E.Z. Gareev, the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic;<sup>2</sup> Kyrgyz State University named after Arabaev, Bishkek, Kyrgyz Republic

\* Corresponding author (medet60[at]mail.ru)

## Abstract

The paper presents the results of primary introduction tests of garden forms of conifers of the *Cupressaceae* Rich. ex Bartl family in the Chuya valley. The studies were conducted with nine garden forms of *Thuja occidentalis* L., 5 – *Juniperus* L., 3 – *Chamaecyparis* Spach, and 2 — *Cryptomeria japonica* Don. Planting material was obtained by seedlings and cuttings. Cuttings were rooted using growth stimulants. Subsequently, rooted cuttings were planted in open ground. Various forms are characterized by low, medium, and high winter hardiness and growth rate. Garden forms of conifers of the *Cupressaceae* Rich. ex Bartl. family, except for two types of cryptomeria, and *Thuja occidentalis* “Smaragd” successfully passed the initial introduction tests in the Chuya Valley.

**Keywords:** introduction, winter hardiness, garden forms, growth, height.

## Введение

Одной из основных целей интродукции является привлечение в культуру растений с разнообразными ценными свойствами, особенно с такими, которые редки или вовсе отсутствуют у растений местной флоры [1].

Вопросы интродукции, озеленения и коллекций хвойных растений, в том числе туй, можжевельников и кипарисовиков изучены рядом авторов в различных регионах России, Армении [6] и Беларуси [7], что свидетельствует об актуальности таких исследований.

В статьях М.К. Ахматова и др. [8], [9] приводятся отдельные результаты исследований интродукции новых видов и форм декоративных растений, в том числе некоторых из садовых форм хвойных семейства *Cupressaceae* Rich. ex Bartl. В 2018 году одна из авторов данной статьи Мамытова М.Т. выступила с докладом “Интродукция и биологические особенности садовых форм хвойных семейства *Cupressaceae* Rich. ex Bartl. в Чуйской долине” на Международном семинаре по изучению биоразнообразия на базе Варзобской горно- ботанической станции «Кондара», но представленные результаты исследований не были опубликованы.

В настоящее время весьма актуальной является задача расширения ассортимента хвойных растений, используемых в озеленении Чуйской долины. Количество видов и садовых форм хвойных, применяемых в практике ландшафтной архитектуры невелико. В посадках встречаются *Picea pungens* Engelm., *Picea pungens* “Glauca”, *Pinus pallasiana* Lamb., *Pinus sylvestris* L., *Picea tianschanica* Rupr., *Juniperus virginiana* L., *Juniperus sabina* L., *Thuja occidentalis* “Fastigiata”, *Thuja occidentalis* “Aurea” и *Biota orientalis* L. В последнее время их ассортимент расширяется, в связи с распространением сети фирм и садовых центров, специализирующихся на ландшафтной архитектуре. Завозимый посадочный материал в основном из Европы, однако, он не адаптирован к местным природно-климатическим условиям и растения зачастую гибнут. Спрос на культивары хвойных растений с каждым годом возрастает, и восполнить его может Ботанический сад НАН КР, являющийся ведущим интродукционным центром Кыргызской Республики.

Семейство *Cupressaceae* Rich. Ex Bartl. включает 29 родов. Исследуемые нами объекты входят в такие рода, как *Thuja* L., *Chamaecyparis* Spach., *Juniperus* L. и *Cryptomeria* D.Don.

Туя западная – популярнейшее в Западной Европе декоративное растение. В Европу интродуцирована предположительно в 1534 г. В настоящее время преимущественно выращиваются ее многочисленные садовые формы, которые по габитусу, характеру и окраске хвои можно подразделить на ряд групп [10]. Так как это, пожалуй, наиболее

часто используемое в культуре дерево среди всех других хвойных пород, оно имеет большое количество садовых форм (к 2005 году выделено 120 садовых форм).

Благодаря большому количеству высокодекоративных искусственно выведенных форм, зимостойкости, долговечности и устойчивости к городским условиям, туя западная очень широко распространена в декоративном садоводстве по всем континентам во многих климатических зонах.

Значительный практический интерес для озеленения представляют можжевельники, большинство которых отличаются сохранением декоративности на протяжении всего года, проявляя при этом фитонцидную активность и высокие экологические качества. Род насчитывает около 70 видов и огромное количество разнообразных форм (свыше 150), которые отличаются между собой формой и скоростью роста, высотой, формой кроны, направлением роста ветвей, окраской побегов.

Род *Chamaecyparis* Sprach. включает в себя 7 видов, которые в природе произрастают от Аляски до Калифорнии в Северной Америке, Японии, Китае и на острове Тайвань. Известно около 200 культиваров. За рубежом интродуцированы все виды и более 100 наименований декоративных форм. В настоящее время кипарисовики широко используются в ландшафтной архитектуре, озеленении.

*Cryptomeria japonica* Don.- единственный вид рода *Cryptomeria* D. Don.

Одной из важных задач питомников является ускорение роста укоренившихся черенков и увеличение выхода декоративного посадочного материала. Среди различных приемов, способствующих повышению качества укоренившихся черенков, особого внимания заслуживают удобрения, которые наряду с другими агротехническими условиями оказывают существенное влияние на формирование хвойных растений, особенно, в первые годы их роста и развития.

#### Почвенно-климатические и метеорологические условия

Экспериментальные исследования проведены в Ботаническом саду НАН КР, расположенном в предгорной зоне Чуйской долины (г. Бишкек) на конусах выноса рек Аламедин и Ала-Арча, на высоте около 800 м над уровнем моря.

Чуйская долина находится на северной периферии одной из самых высокогорных систем Мира – Тянь-Шане. Она расположена в центральной части огромного материка Евразии, вдали от смягчающего влияния на климат Атлантического океана, что определяет его резко континентальный характер [11], [12].

Климат района исследований резко континентальный. Самый теплый период года – июль, самый холодный – январь. Зима в районе исследования холодная с частыми оттепелями и неустойчивым снежным покровом. Для весны характерны поздние заморозки. Осень сухая и теплая, с ранним наступлением заморозков. Лето сухое и жаркое, с низкой влажностью воздуха.

Ветры преобладают в основном горно-долинные, вдоль оси долины, и выражены чаще всего двумя направлениями – восточным и западным. Осадков выпадает 400-600 мм в год, из них за период вегетации не более 40%. Среднегодовая относительная влажность – 61%. В летние месяцы относительная влажность воздуха очень низкая – 25-30%. Среднегодовая температура составляет +10,5 °С. Летом устанавливается жаркая погода с среднесуточной температурой в июне + 21,9 °С, июле + 24,1 °С, августе + 22,7 °С. Абсолютные максимумы температуры приходятся на вторую половину лета (июль, август) и достигают + 40,4 °С. Заморозки зимой в большинстве случаев бывают при вторжении холодных воздушных масс с запада, наиболее часто они повторяются в марте и апреле, в период распускания почек и цветения плодовых деревьев. Очень часто поздними весенними заморозками повреждаются листья многих древесных пород.

Почвы Ботанического сада НАН КР весьма маломощны. Мощность основной части почв составляла 30 см, местами – всего 5 см, количество гумуса – 1-2%. Почвы северные малокарбонатные сероземы. Им свойственно обилие каменисто – галечниковых отложений и заплываемость при поливе. Полив проводится один раз в неделю арычной системой.

Климатические данные по метеорологической станции г. Бишкек, предоставлены Агентством по гидрометеорологии при МЧС КР за ноябрь - март месяцы в период с 2012 по 2019 г.г.

Среднемесячная температура воздуха (°С) за период 2012-2019гг.

Январь	Февраль	Март	Ноябрь	Декабрь
-1.8	-1.1	7.4	3.1	-0.7

Абсолютный максимум температуры воздуха (°С) за период 2012-2019гг.

Январь	Февраль	Март	Ноябрь	Декабрь
17.5	25.4	29.7	29.8	20.3

Абсолютный минимум температуры воздуха (°С) за период 2012-2019гг.

Январь	Февраль	Март	Ноябрь	Декабрь
-27.1	-20.6	-13.2	-14.9	-23.6

Самые низкие температуры были 20 декабря (- 23.6°С) и 21 января (- 25.0°С) 2012 г., 5 февраля (- 20.6°С) 2014 г. и 28 января (- 27.1°С) 2018 г. Самые высокие температуры отмечены 20 декабря (19.5°) 2012 г., 22 февраля (25.4°С) 2016 г. и 24 декабря (20.3°С) 2019 г. Заморозки могут быть ранней весной в марте месяце. Так, в марте самые низкие

температуры были 2 марта (- 8.4°C) 2012 г. и 31 марта (-13.2°C) 2015 г. В ноябре абсолютные минимумы температуры могут доходить до - 14.9°C. Приведенные данные еще раз свидетельствуют, что климат района исследований резко континентальный. Зимы, с понижением температур до - 26.6°C чередуются оттепелями.

Объекты, материалы и методика исследований

Объектами исследований служили 9 садовых форм *Thuja occidentalis* L., 5 – *Juniperus* L., 3 – *Chamaecyparis* Spach. и 2 – *Cryptomeria japonica* Don. – (*Cryptomeria japonica* “Globosa nana” и *Cryptomeria japonica* “Elegans”). Посадочный материал получен саженцами и черенками. Черенки укореняли с помощью стимуляторов роста. В последующем укорененные черенки высаживали в открытый грунт.

Наблюдения проводили за растениями, произрастающими на интродукционном питомнике Ботанического сада НАН КР. Для оценки роста растений измеряли четыре параметра роста: высоту растений (или же длину надземной части растений от корневой шейки до почки верхушечного побега), длину боковых побегов, количество вновь образовавшихся побегов и диаметр корневой шейки (в месте ее контакта с почвой). Измерения проводили один раз в месяц с апреля по октябрь. Для этого использовали линейку и штангенциркуль [13]. В данной статье, представлены результаты измерений только высоты растений. Зимостойкость определяли по 5 бальной шкале [14].

### Результаты и обсуждение

Коллекция садовых форм *Thuja occidentalis* L. формировалась из растений (саженцев) молодого возраста и черенков, в последующем укорененных нами. Они были привезены из Московского Государственного Университета Леса, Университета им. Менделя (Чехия) и частного питомника штата Оклахома, начиная с 2008 года. Так, в 2008 году были привезены черенки *Thuja occidentalis* “Malonyana”, 2010 году черенки *Thuja occidentalis* “Smaragd”, а все остальные садовые формы саженцами в 2011 году. Все эти годы проводились исследования морфометрических показателей, зимостойкости, сохранения габитуса и формы, а также скорости роста (табл.1).

Таблица 1 – Состав коллекции и высота садовых форм *Thuja occidentalis* L. на 2019 г.

№	Садовая форма	Экземпляров	Материал и его происхождение	Возраст, лет	Высота, см
1	“Malonyana”	17	ч., США штат Оклахома	11	484
2	“Smaragd”	6	ч., Чехия	9	-
3	“Ellwangeriana”	2	саж., Москва	8	254
4	“Globosa ”	2	саж., Москва	8	92
5	“Globosa nana ”	2	саж., Москва	8	66
6	“Hoveyi ”	2	саж., Москва	8	240
7	“Spiralis”	2	саж., Москва	8	370
8	“Alba ”	2	саж., Москва	8	177
9	“Brabant ”	2	саж., Москва	8	210

Примечание: саж. – саженцы, ч. – черенки

Наиболее интенсивный прирост отмечен у *Thuja occidentalis* “Malonyana”, так как в настоящее время высота растений достигла 484 см, что свидетельствует о том, что ежегодный прирост около 50 см. К сегодняшнему дню высота садовых форм следующая: “Spiralis” – 370 см, “Ellwangeriana” – 254 см, “Hoveyi ” – 240 см, “Brabant ” – 210 см, “Alba ” – 177 см, “Globosa ” - 92 см и “Globosa nana ” – 66 см. Данные по высоте *Thuja occidentalis* “Smaragd” не приводятся, так как данная форма туи не выдержала сильных осенних заморозков 2016 г., и на 80% вымерзли. Понадобилось три года для их восстановления.

Садовые формы *Juniperus* L. были привезены саженцами из Московского государственного университета леса, а также черенками из Университета им. Менделя и частного питомника Германии (табл.2). *Juniperus sabina* “Depressa Aurea” и *Juniperus communis* “Hebernica” черенками, соответственно в 2010 и 2011 г.г. Садовые формы *Juniperus sabina* - “Mas ”, “Tamariscifolia” и “Aurea” в 2012 г. саженцами из Московского государственного университета леса. За восемь лет высота растений *Juniperus communis* “Hebernica” достигла 283 см. У садовых форм L. измеряли длину побегов первого порядка, так можжевельник казацкий по форме стелющийся или горизонтальный. В настоящее время, эти показатели оказались следующими: “Mas” – 198 см, “Aurea” – 185 см, “Tamariscifolia” – 139 см и “Depressa Aurea” – 117 см. Наиболее медленным ростом характеризуется “Depressa Aurea”. Визуальные наблюдения показали, что растения сохраняют присущие им формы.

Таблица 2 – Состав коллекции и высота (длина) садовых форм *Juniperus* L. на 2019 г.

№	Садовая форма	Экземпляров	Материал и его происхождение	Возраст, лет	Высота или длина, см
<i>Juniperus communis</i> L.					
1	“Hebernica”	3	ч., Германия	8	283
<i>Juniperus sabina</i> L.					
2	“Mas ”	2	саж., Москва	7	198
3	“Depressa Aurea”	1	ч., Чехия	9	117
4	“Tamariscifolia”	2	саж., Москва	7	139
5	“Aurea”	2	саж., Москва	7	185

В таблице 3 представлен состав коллекции садовых форм *Chamaecyparis* Spach. Возраст растений 7 и 8 лет. Первые пять лет зимостойкость растений недостаточно высокая, так как в зимний период растения частично подмерзали. И только, адаптировавшись к зимним неблагоприятным условиям, в последние три года растения хорошо переносят зиму. Две формы *Chamaecyparis lawsoniana* “Alumii Elwoodii” и “White Spot” характеризуются средней скоростью роста, а у *Chamaecyparis pisifera* “Filifera” ежегодный прирост незначительный. Высота садовых форм “Alumii Elwoodii” – 209 см, “White Spot” – 112 см и “Filifera” – 92 см. Следует также отметить, что особенностью кипарисовиков является медленный рост в первые два-три года и характерную для них форму принимают к 7-8 году.

Таблица 3 – Состав коллекции садовых форм *Chamaecyparis* Spach. на 2019 г.

№	Садовая форма	Экземпляров	Материал и его происхождение	Возраст, лет	Высота, см
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>					
1	“Alumii Elwoodii”	4	ч., Германия	8	209
2	“White Spot”	2	ч., Германия	8	112
<i>Chamaecyparis pisifera</i>					
3	“Filifera”	2	саж., Москва	7	92

Результаты исследований зимостойкости садовых форм хвойных семейства *Cupressaceae* Rich. ex Bartl. представлены в таблице 4. Трехлетние исследования за растениями *Cryptomeria japonica* “Globosa nana” и *Cryptomeria japonica* “Elegans” показали, что у них обмерзает вся надземная часть до снегового покрова. Весной ежегодно частично восстанавливаются. При наступлении сильных заморозков погибли. Они оказались не зимостойкими. Следовательно они не пригодны для выращивания в условиях Чуйской долины. Растения *Thuja occidentalis* “Smaragd” показали себя слабоморозостойкими. Остальные садовые формы *Thuja occidentalis* L. считаются зимостойкими. Представители *Chamaecyparis* Spach. Среднезимостойкие, так как у них отмерзает до 50 % однолетнего прироста, а в отдельные годы возможно отмирание более старых ветвей. Хвойные растения, относящиеся к роду *Juniperus* L. зимостойки.

Таблица 4 – Зимостойкость садовых форм хвойных семейства *Cupressaceae* Rich. ex Bartl

№	Садовые формы	Зимостойкость, в баллах
1	<i>Thuja occidentalis</i> “Smaragd”	3
2	<i>Thuja occidentalis</i> “Malonyana”	5
3	<i>Thuja occidentalis</i> “Ellwangeriana”	5
4	<i>Thuja occidentalis</i> “Globosa ”	5
5	<i>Thuja occidentalis</i> “Globosa nana ”	5
6	<i>Thuja occidentalis</i> “Hoveyi ”	5
7	<i>Thuja occidentalis</i> “Spiralis”	5
8	<i>Thuja occidentalis</i> “Alba ”	5
9	<i>Thuja occidentalis</i> “Brabant ”	5
10	<i>Juniperus communis</i> “Hebernica”	5
11	<i>Juniperus sabina</i> “Depressa Aurea”	5
12	<i>Juniperus sabina</i> “Tamariscifolia”	5
13	<i>Juniperus sabina</i> “Aurea”	5
14	<i>Juniperus sabina</i> “Mas ”	5
15	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> “Alumii Elwoodii”	4
16	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> “White Spot”	4
17	<i>Chamaecyparis pisifera</i> “Filifera”	4
18	<i>Cryptomeria japonica</i> “Globosa nana”	2
19	<i>Cryptomeria japonica</i> “Elegans”	2

С 2018 года начаты исследования по укоренению черенков садовых форм хвойных семейства *Cupressaceae* Rich. ex Bartl. В экспериментах используются стимуляторы роста. Это, завершающий этап интродукционных испытаний и подведения итогов интродукции.

#### Заключение

*Cryptomeria japonica* “Globosa nana” и *Cryptomeria japonica* “Elegans” оказались не зимостойкими, так как не переносят зимних заморозков и обмерзает вся надземная часть. Весной ежегодно частично восстанавливаются. При наступлении сильных заморозков погибли. Следовательно они не пригодны для выращивания в условиях Чуйской долины. Растения *Thuja occidentalis* “Smaragd” показали себя слабоморозостойкими. Остальные садовые формы можно считать зимостойкими и среднезимостойкими. Высота растений от 66 см у *Thuja occidentalis* “Globosa nana ” до 484 см у *Thuja occidentalis* “Malonyana”. А длина побегов первого порядка от 117 см у *Juniperus sabina* “Depressa Aurea” до 198 см у *Juniperus sabina* “Mas”. Садовые формы хвойных семейства *Cupressaceae* Rich. ex Bartl., за исключением двух форм криптомерии и *Thuja occidentalis* “Smaragd” успешно прошли первичные интродукционные испытания в Чуйской долине.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Беляева Ю. Э. Интродукция хозяйственно ценных листопадных древесных растений Северной Америки в ГБС РАН / Ю. Э. Беляева // Материалы Международной научной конференции “Проблемы современной дендрологии”. – М., 2009. – С.33-35.
2. Коляда Н. А. Об использовании североамериканских хвойных растений в озеленении городов России / Н. А. Коляда // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 9. – С. 73-76.
3. Мартынов Л. Г. Виды хвойных в коллекции Ботанического сада Института биологии Коми научного центра и перспективы их использования в озеленении / Л. Г. Мартынов // Известия Коми научного центр УрО РАН. – 2015. – Выпуск 1 (21). – С. 36-43.
4. Фирсов Г. А. Перспективные виды и формы хвойных для зеленых насаждений Санкт-Петербурга / Г. А. Фирсов, В. В. Бялт, Л. В. Орлова, А. Г. Хмерик // Hortus botanicus. – 2017. – Т. 12. , прил. II. – С. 33-41.
5. Острошенко В. Ю. Интродукция туи западной (*Thuja occidentalis* L.) на юг Дальнего Востока России / В. Ю. Острошенко, Н. А. Коляда // Вестник ДВО РАН. – 2017. № 5. – С. 97 - 105.
6. Варданян Ж. А. Особенности интродукции и экологической адаптации хвойных растений в условиях Ереванского ботанического сада НАН Армении / Ж. А. Варданян // Ученые записки. – 2014. - № 1. – С. 138 – 149.
7. Холопук Г. А. декоративные формы рода Туя (*Thuja* L.) в коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси / Г. А. Холопук, В. И. Торчик, А. Ф. Келько // Научные труды Чебоксарского филиала ГБС РАН. – 2019. Выпуск 13. – С. 97 – 102.
8. Ахматов М. К. Первичные интродукционные испытания новых видов и форм декоративных древесных растений в Чуйской долине / М. К. Ахматов, Ж. К. Абдрашитова, П. Салаш, Э. кызы Качкынбек // Международный научно-исследовательский журнал. 2013- №5 (12). - Часть 1. – С. 36 – 38.
9. Мамытова М. Т. Коллекция садовых форм хвойных растений в питомнике Ботанического сада им.Э. Гареева НАН КР / М. Т. Мамытова, М. К. Ахматов, Ж. К. Абдрашитова // Известия НАН КР. 2018- Специальный выпуск. – С. 58 - 63.
10. Карпун Ю. Н. Классификация садовых форм туи западной (*Thuja occidentalis* L.) / Ю. Н. Карпун, Г. В. Перфильева // Hortus botanicus. – 2004. - №2. – С. 33 - 41.
11. Аламанов С.К. Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии / С.К. Аламанов, В.М. Лелевкин, О.А. Подрезов, А.О. Подрезов. – М.; Бишкек: WWF России: ЮНЕП, 2006. – 188 с.
12. Климат Фрунзе / под ред. Е.С. Скиба, Ц.А. Швер. – Л.: Гидрометеиздат, 1990 – 136 с.
13. Ахматов М. К. Влияние субстратов на рост укорененных черенков хвойных растений / М. К. Ахматов, Ж. К. Абдрашитова, П. Салаш // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Aktualne problemy nowoczesnych nauk - 2013». - Volume 26. – Przemyśl, 2013. – P. 22 – 25.
14. Таран, С.С. Методологические аспекты оценки результатов интродукции древесных растений для целей озеленения / С. С. Таран, И. С. Колганова // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11 (часть 9). – С. 1892-1896.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Belyaeva Yu. E. Introduktsiya khozyaystvenno tsennykh listopadnykh drevesnykh rasteniy Severnoy Ameriki v GBS RAN [Introduction of economically valuable deciduous woody plants of North America in the GBS of RAS] / Yu. E. Belyaeva // Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii “Problemy sovremennoy dendrologii” [Materials of the International Scientific Conference “Problems of Modern Dendrology”]. – М., 2009. – P.33-35. [in Russian]
2. Kolyada N. A. Ob ispol'zovanii severoamerikanskikh khvoynykh rasteniy v ozelenenii gorodov Rossii [About usage of North American conifers in greening of Russian cities] / N. A. Kolyada // Vestnik KrasGAU [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University]. – 2010. – No. 9. – P. 73-76. [in Russian]
3. Martynov L. G. Vidy khvoynykh v kollektzii Botanicheskogo sada Instituta biologii Komi nauchnogo tsentra i perspektivy ikh ispol'zovaniya v ozelenenii [Species of conifers in collection of Botanical Garden of the Institute of Biology of Komi Scientific Center and prospects for their use in landscaping] / L. G. Martynov / Izvestiya Komi nauchnogo tsentr Uro RAN [Bulletin of the Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]. – 2015. – Issue 1 (21). – P. 36-43. [in Russian]
4. Firsov G. A. Perspektivnyye vidy i formy khvoynykh dlya zelenykh nasazhdeniy Sankt-Peterburga [Prospective species and forms of conifers for green spaces of St. Petersburg] / G. A. Firsov, V. V. Bialt, L. V. Orlova, A. G. Khmerik // Hortus botanicus. – 2017. – V. 12., App. II. – P. 33-41. [in Russian]
5. Ostroshenko V. Yu. Introduktsiya tui zapadnoy (*Thuja occidentalis* L.) na yug Dal'nego Vostoka Rossii [Introduction of Western Thuja (*Thuja occidentalis* L.) to the South of the Russian Far East] / V. Yu. Ostroshenko, N. A. Kolyada // Vestnik DVO RAN [Bulletin of FEB RAS]. – 2017. – No. 5. – P. 97 - 105. [in Russian]
6. Vardanyan, J. A. Osobennosti introduktsii i ekologicheskoy adaptatsii khvoynykh rasteniy v usloviyakh Yerevanskogo botanicheskogo sada NAN Armenii [Features of introduction and environmental adaptation of conifers under conditions of Yerevan Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Armenia] / J. A. Vardanyan // Uchenyye zapiski [Uchenye Zapiski]. – 2014. – No. 1. – P. 138 - 149. [in Russian]
7. Kholopuk G. A. Dekorativnyye formy roda Tuya (*Thuja* L.) v kollektzii Tsentral'nogo botanicheskogo sada NAN Belarusi [Decorative forms of the Thuja genus (*Thuja* L.) in collection of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus] / G. A. Kholopuk, V. I. Torchik, A. F. Kelko // Nauchnyye trudy Cheboksarskogo filiala GBS RAN [Scientific works of the Cheboksary branch of the GBS RAS]. – 2019. – Issue 13. – P. 97 - 102. [in Russian]
8. Akhmatov M.K. Pervichnyye introduktsionnyye ispytaniya novykh vidov i form dekorativnykh drevesnykh rasteniy v Chuyskoy doline [Primary introduction tests of new species and forms of decorative woody plants in Chui Valley] / M.K. Akhmatov, J.K. Abdrashitova, P. Salash, E. kzyz Kachkynbek // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Scientific Research Journal]. – 2013. – No. 5 (12). – Part 1 – P. 36 - 38. [in Russian]

9. Mamytova M. T. Kolleksiya sadovykh form khvoynykh rasteniy v pitomnike Botanicheskogo sada im.E. Gareyeva NAN KR [Collection of garden forms of conifers in nursery of the Botanical Garden named after E. Gareev of the NAS KR] / M.T. Mamytova, M.K. Akhmatov, J.K. Abdrashitova // Izvestiya NAN KR [Bulletin of NAS KR]. 2018 – Special Edition. – P. 58 - 63. [in Russian]
10. Karpun Yu. N. Klassifikatsiya sadovykh form tui zapadnoy (*Thuja occidentalis* L.) [Classification of garden forms of western thuja (*Thuja occidentalis* L.)] / Yu. N. Karpun, G.V. Perfilyeva // Hortus botanicus. – 2004. – No. 2. – P. 33 - 41. [in Russian]
11. Alamanov S.K. Izmeneniye klimata i vodnyye problemy v Tsentral'noy Azii [Climate change and water problems in Central Asia] / S.K. Alamanov, V.M. Lelevkin, O.A. Podrezov, A.O. Undercuts. – M.; Bishkek: WWF-Russia: UNEP, 2006. – 188 p. [in Russian]
12. Klimat Frunze [Climate in Frunze] / ed. by E.S. Skiba, C.A. Schwer. – L.: Gidrometeoizdat, 1990 – 136 p. [in Russian]
13. Akhmatov M.K. Vliyaniye substratov na rost ukorenennykh cherenkov khvoynykh rasteniy [Effect of substrates on growth of rooted coniferous plant cuttings] / M.K. Akhmatov, J.K. Abdrashitova, P. Salash // Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualne problemy nowoczesnych nauk - 2013» [Materials of the IX International Scientific and Practical Conference "Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2013". – Volume 26. – Przemysl, 2013. – P. 22 - 25. [in Russian]
14. Taran, S.S. Metodologicheskiye aspekty otsenki rezul'tatov introduktsii drevesnykh rasteniy dlya tseley ozeleneniya [Methodological aspects of evaluating results of introduction of woody plants for landscaping] / S. S. Taran, I. S. Kolganova // Fundamental'nyye issledovaniya [Fundamental Research]. – 2013. – No. 11 (Part 9). – P. 1892-1896. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.018>**К ИНВЕНТАРИЗАЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКЕ РОДНИКОВ КАМЫШЛИНСКОГО РАЙОНА САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научная статья

**Ильина В.Н.<sup>1,\*</sup>, Казанцев И.В.<sup>2</sup>, Матвеева Т.Б.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6692-2580;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6765-9131;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-7503-0958;<sup>1, 2, 3</sup> Самарский государственный социально-педагогический университет, Самара, Россия

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

**Аннотация**

В связи с дефицитом питьевой воды в различных регионах России огромный интерес вызывают грунтовые воды и места их выхода на поверхность. В Самарской области данные последней инвентаризации родников получены в 2002 году, однако в настоящее время назрела необходимость осуществления нового исследования. Некоторые из родников находятся в неудовлетворительном состоянии, требуют рекультивации и ухода; другие же были пропущены в ходе предыдущей описи или образовались недавно. Нами обследованы 18 родников Камышлинского района Самарской области, 6 из которых выявлены впервые. Флора родников и водоохраных зон насчитывает 202 вида сосудистых растений и 105 таксонов водорослей. Во флоре зарегистрировано 19 редких видов растений. Большинство родников требуют немедленных мероприятий по охране.

**Ключевые слова:** водные ресурсы, родники, Самарская область, флора, экологическое состояние.

**ABOUT INVENTORY PROCEDURES AND FEATURES OF SPRINGS IN KAMYSHLINSKY DISTRICT OF SAMARA REGION**

Research article

**Ilyina V.N.<sup>1,\*</sup>, Kazantsev I.V.<sup>2</sup>, Matveeva T.B.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6692-2580;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6765-9131;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-7503-0958;<sup>1, 2, 3</sup> Samara State University of Social Sciences and Education, Samara, Russia

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

**Abstract**

Due to the shortage of drinking water in various regions of Russia, groundwater and places of its exposure are of great interest. The results of the latest inventory of the springs in the Samara region were obtained in 2002. But, the need for a new study has become topical again. Some of the springs are in an unsatisfactory condition, require reclamation and care; others were missed during the previous inventory or formed recently. We have examined 18 springs of the Kamyshlinsky district of the Samara region, 6 of which were revealed for the first time. Flora of springs and water protection zones includes 202 species of vascular plants and 105 taxa of algae. There are 19 rare plant species recorded in the vegetation. Most springs require immediate protection.

**Keywords:** water resources, springs, Samara region, flora, ecological state.

По данным последней инвентаризации водных источников Самарской области [8], Камышлинский район по числу родников находится на 2-ом месте (98 родников с дебитом 37 л/сек). На основе проведенной инвентаризации водных источников в книге [8] даны сведения о местах расположения родников, химическом составе воды, ее использовании, санитарном состоянии самих родников и прилегающих территорий. Особенностью некоторых источников в северной части области является высокое содержание сероводорода. В Самарской области широко известны серные озера Сергиевского, Клявлинского и Исаклинского районов, в том числе Серное озеро – базовое для забора лечебной грязи курортом пос. Серноводск «Сергиевские минеральные воды» [1].

В связи с возрастающим дефицитом питьевой воды привлекают к себе внимание подземные воды и небольшие чистые пресные источники. Известно, что качество поверхностных и грунтовых вод зависит от степени чистоты окружающей среды, а она, в свою очередь, от сохранности растительного покрова водоемов [3], [4], [10]. Родников, перспективных для водоснабжения в Камышлинском районе немало, при этом не все они взяты на учет. Таким образом, актуальность работы заключается в том, что не закончена инвентаризация родников Самарской области, обеспечивающих речной сток, водоснабжение населения, промышленности и сельского хозяйства, а также источников с сероводородной водой и лечебной грязью, которые могут использоваться для лечения целого ряда заболеваний.

Цель исследования заключалась в инвентаризации родников, определении современного состояния и изучении флоры пресных и сероводородных источников.

В качестве объектов исследования нами были избраны пресные и сероводородные источники, расположенные на территории Камышлинского района.

Практическая значимость работы заключалась в уточнении количества родников Камышлинского района, выявление форм антропогенного влияния на эти объекты и рекомендация мер по оптимизации их состояния.

Наши исследования проводились на территории Камышлинского района (пос. Красный Яр, сс. Камышла, Новое Усманово, Чувацкий Байтуган, Татарский Байтуган, Бузбаш, Юлдуз). Всего было обследовано 18 родников. Из них

12 (3-Ка, 4-Ка, 5-Ка, 11-Ка, 12-Ка, 17-Ка, 18-Ка, 61-Ка, 62-Ка, 63-Ка, 76-Ка, 91-Ка) отмечены в каталоге [8]. Шесть других объектов нашего исследования в указанном перечне родников не обозначены, выявлены нами впервые. Ниже приводится краткая характеристика родников.

В ходе работ использовались стандартные методики сбора и определения видового состава флоры самих родников и их водоохраных зон [5].

Родник 3-Ка расположен в 0,3 км юго-западнее с. Новое Усманово у подножия коренного берега р. Сок. По описанию он имеет два выхода, общий дебит 0,6 л/сек, но к концу лета они нередко пересыхают. Обнаружен не описанный третий выход воды в 5-6 метрах от известных. Ориентировочный дебит нового выхода родника около 0,3 л/сек.

Незарегистрированный источник описан в 250 м юго-западнее от родника 3-Ка. В настоящее время он оборудован силами местных жителей (имеется заграждение, установлена труба, через которую вода выходит на поверхность). Ориентировочный дебит воды 0,1 л/сек.

В окрестностях с. Буз-Баш расположен сероводородный источник, называемый «Камышлинская Мацеста», впервые описанный в «Памятниках природы Куйбышевской области» [7]. Указаний на него в каталоге [8] нет.

Кроме того, нами исследован сероводородный источник на южной окраине села Камышла по правому берегу реки Сок в одном метре от береговой линии, который можно назвать «Камышлинская Мацеста – 2». Нами было выявлено 7 выбивающих грифонов, а не пять, как указано в кадастре родников для этого объекта.

В 200 м южнее от него, слева от трассы на Буз-Баш, имеется еще один ключ. Вода несероводородная.

В окрестностях с. Камышла также ранее не указывались несколько родников. В 3 км на северо-запад по автодороге по направлению на Клявлино находится источник, имеющий 2 выхода, сливающихся в один с дебитом воды около 5 л/сек.

Далее по той же трассе через 1-1,2 км выходит источник общим дебитом воды около 0,1-0,2 л/сек. Течение слабое.

Из 18 обследованных нами родников только 2 являются сероводородными. К сожалению, нам не удалось провести мониторинг известного серного источника «Ново-Усмановская сероводородная вода», который перешел в частное владение, и родников близ с. Старое Ермаково из-за их значительной удаленности. Кроме того, данный родник исключен из списка памятников природы регионального значения Самарской области.

Родник 3-Ка вытекает из горных пород у подножия коренного берега р. Сок вблизи с. Н. Усманово. Имеет камеру из бутового камня со стальными крышкой и трубой. Использовался для нецентрализованного водоснабжения. Основной выход пересохший, камера в настоящее время пуста. Второй выход, расположенный в 5 м выше по склону, характеризуется низким дебитом, также пересыхающий. Источнику требуется срочная очистка. Нами обнаружен третий выход из данного водоносного горизонта в 6 метрах. Дебит около 0,5 л/с. Требуется ограждения и очистки. Антропогенный фактор – выпас крупного рогатого скота.

В 250 метрах на юго-запад от родника 3-Ка обнаружен новый источник, не вошедший в кадастр родников. Он оборудован: имеется заграждение и установлена труба, через которую вода выходит на поверхность, объем до 0,2 л/сек. Стекающая вода используется для водопоя скота, возможно использование для нецентрализованного водоснабжения.

Родник 4-Ка «Юлга-Чыкканчишма», расположенный в 2,8 км севернее с. Тат. Байтуган на правом коренном берегу р. Байтуган, имеет рассеянный выход, собирающийся в один поток с дебитом 11 л/сек. Источник незащищенный. В связи с удаленностью от населенного пункта он находится в хорошем состоянии. Вода используется как питьевая.

В 3,5 км от с. Тат. Байтуган на правом коренном берегу р. Байтуган расположен родник «Короткий». Имеет пять выходов в виде ключей и три грифона. Дебит 15 л/сек. Прибрежная часть и мелководья поросли ивняками. В связи с удаленностью от населенного пункта два этих родника находятся в хорошем состоянии. Вода используется как питьевая.

Источник 11-Ка в 1,7 км от с. Красный Яр имеет небольшой дебит и через 100-120 м впадает в р. Кармалка. Исток находится между корнями берез, не сразу обнаруживается. Использование в питьевых целях нецелесообразно в связи с малым дебитом. Ограждение отсутствует. До настоящего времени сохранилась срубовая камера, из-под которой и выбивается родник. Камера ветхая, требует восстановления.

Родник 12-Ка в окрестностях с. Красный Яр ранее имел заграждение, которое в настоящее время практически полностью разрушилось, так как после пожара 2007 года в селе сохранился только один дом. В нем в летнее время проживает семья из 4 человек. По этой причине ремонт ограждения никем не осуществляется. Вода используется как питьевая. Родник без мусора, но в верхней части происходит застой воды: здесь поселились бобры, построившие хатку и несколько плотин. Ивы, обильно росшие на берегу родника, повреждены бобрами, несколько из них повалены. Родник не требует особых мер по облагораживанию.

Источники 11-Ка и 12-Ка описаны среди пяти родников в «Голубой книге Самарской области» (2007), где им присвоен статус объекта природного наследия районного уровня под общим названием «Источник в долине р. Байтуган».

Родник 17-Ка на окраине с. Чув. Байтуган защищен срубовой камерой, имеется водопускная труба. Вода используется для полива огородов. Дебит источника незначительный. Родник требует очистки.

Источник 18-Ка используется для централизованного водоснабжения. Вода подведена в колонку.

Источник «Камышлинская Мацеста» посещается местным населением. Над ним помещены доски, выполняющие роль импровизированного мостика. Южнее этого родника впадает еще один источник, вода в нем пресная.

В окрестностях с. Камышла и в самом населенном пункте находится большое количество родников. Большинство из них используются для нецентрализованного водоснабжения. На территории Камышлы они оборудованы и имеют ограждения. К сожалению, ключи и прилегающие к ним места нередко замусориваются.

В альгофлоре обследованных родников наибольшим разнообразием отличается отдел *Chlorophyta* (37 таксонов), на втором месте – *Bacillariophyta* (24), на третьем – *Euglenophyta* (16). В сумме данные таксоны представляют около 73,3 % от общего состава. Другие отделы представлены меньшим числом таксонов: *Cyanoprokaryota* – 8, *Chrysophyta* – 6, *Dinophyta* – 5, *Xanthophyta* – 5, *Cryptophyta* – 3, *Raphidophyta* – 1. Среди доминантов отмечены *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., *Diatoma vulgare* var. *productum* Bory, *Melosira varians* Ag., *Pandorina morum* (Müll) Bory, *Chlamydomonas monadina* Stein var. *monadina*, *Pediastrum duplex* Meyen, *Tetrastrum glabrum* (Roll) Ahlstr. et Tiff., *Phormidium foveolarum* Gom. и другие.

Флора сосудистых растений исследуемых водных источников и их водоохраной зоны насчитывает 202 вида, относимых к 3 отделам (Моховидные, Хвощевидные, Покрывосеменные), 52 семействам и 147 родам. Наибольшим видовым обилием отличаются сем. Сложноцветные, Бобовые, Злаковые, Розоцветные, Зонтичные, Губоцветные и Гречишные, включающие более 60% представителей.

Подавляющее большинство видов растений принадлежит к травянистым многолетникам, среди которых доминируют корневищные растения (47,5%). В спектре экологических групп преобладают мезофиты (55,5%). Фитоценологический анализ выявил ведущую роль луговой и лесостепной флоры, что свидетельствует о равноценном влиянии на ее формирование зональных факторов (лесостепь) и условий экотопа. Соотношение групп растений, принадлежащих к различным типам ареала стандартно: доминируют евразийские виды, голарктические и европейские растения занимают вторую и третью позиции. Адвентивная флора представлена 4 видами, которые имеют тенденцию к увеличению численности (*Ambrosia artemisiifolia* L., *Lactuca serriola* L., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray, *Syringa vulgaris* L.).

В составе флоры отмечено 19 редких видов растений (*Adonis vernalis* L., *Bistorta major* S.F. Gray, *Gentiana cruciata* L., *Linum flavum* L., *Oxytropis spicata* (Pall.) O. et B. Fedtsch., *Najas marina* L., *Equisetum ramosissimum* Desf., *Brachythecium rivulare* (Bruch) Bryol. Eur., *Adenophora lilifolia* L., *Valeriana officinalis* L., *Coronaria flos-cuculi* L., *Vicia angustifolia* L., *Inula helenium* L., *Inula aspera* Poir., *Origanum vulgare* L., *Hypericum perforatum* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Campanula persicifolia* L., *Eupatorium cannabinum* L.). Два редких вида (*Najas marina*, *Equisetum ramosissimum*) отмечены нами для района исследования впервые, что расширяет сведения о территории их произрастания.

Изучение родников показало, что в хорошем состоянии они обычно находятся только в случаях значительного удаления от населенных пунктов. В основном родники и окружающие их биотопы испытывают значительное антропогенное воздействие, что может привести или уже приводит к деградации ценных объектов, снижению биоразнообразия природных комплексов. Для сохранения пресных и сероводородных источников Камышлинского района необходима выработка системы мер по охране, в том числе, узаконить водоохранительную зону родников радиусом не менее 150 м, в которой запретить вырубку леса, пастьбу скота, складирование ядохимикатов и удобрений, свалку мусора и другие виды деятельности, нарушающие состояние объектов.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. «Зелёная книга» Поволжья: Охраняемые природные территории Самарской области. – Самара: Кн. изд-во, 1995. – 352 с.
2. Казанцев И. В. Экологическая характеристика подземных вод Самарской области / И. В. Казанцев, Т. В. Матвеева, Т. А. Айриев // Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы. Материалы 5-й международной научно-практической конференции. – Самара: СГСПУ, 2016. – С. 173-175.
3. Кокин К. А. Экология высших растений. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 160 с.
4. Матвеев В.И., Соловьева В.В., Саксонов С.В. Экология водных растений: Учебное пособие. – Самара: изд-во Самарского научного центра РАН, 2004. – 231 с.
5. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 73-92.
6. Негода Л. Л. Обзор результатов анализа воды природных источников Самарской области / Л. Л. Негода, Т. С. Курмаева // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность. Сборник статей. – Самара: СГАСУ, 2016. – С. 148-150.
7. Памятники природы Куйбышевской области. – Куйбышев: Кн. изд-во, 1986. – 154 с.
8. Родники Самарской области. – Самара, 2002. – 531 с.
9. Россия: формирование, распределение, использование. – М.: ГЕОС, 2015. – 320 с.
10. Соловьева В. В. Стратегия развития экосистем природно-технических водоемов Среднего Поволжья / В. В. Соловьева // Вестник ОГУ. – 2008. № 10. – С. 179-187.
11. Шакирова А. Р. Флора родников Камышлинского района Самарской области / А. Р. Шакирова, В. Н. Ильина // Экологический сборник 2: Труды молодых ученых Поволжья. – Тольятти: ИЭВБ РАН, «Кассандра», 2009. – С. 201-204.

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

1. «Zelonaya kniga» Povolzh'ya: Okhranyayemyye prirodnyye territorii Samarskoy oblasti [The Green Book of the Volga Region: Protected natural areas of the Samara region]. – Samara: Kn. publishing house, 1995. – 352 p. [in Russian]
2. Kazantsev I. V. Ekologicheskaya kharakteristika podzemnykh vod Sa-marskoy oblasti [Ecological characteristics of groundwater in the Samara region] / I. V. Kazantsev, T. B. Matveyeva, T. A. Ayriyev // Bioeko-logicheskoye krayevedeniye: mirovyye, rossiyskiye i regional'nyye problemy. Materialy 5-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Bioecological study of local lore: world, Russian and regional problems. Materials of the 5th international scientific-practical conference]. – Samara: SGSPU, 2016. – P. 173-175. [in Russian]

3. Kokin K. A. Ekologiya vysshikh rasteniy [Ecology of higher plants]. – M.: publishing house MGU, 1982. – 160 p. [in Russian]
4. Matveyev V.I., Solov'yeva V.V., Saksonov S.V. Ekologiya vodnykh rasteniy: Uchebnoye posobiye [Ecology of Aquatic Plants: A Training Manual]. – Samara: publishing house Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 2004. – 231 p. [in Russian]
5. Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyemov [Methodology for the study of biogeocenoses of inland waters]. – M.: Nauka, 1975. – P. 73-92. [in Russian]
6. Negoda L. L. Obzor rezul'tatov analiza vody prirodnikh istochnikov Samarskoy oblasti [Review of the results of water analysis of natural sources of the Samara region] / L. L. Negoda, T. S. Kurmayeva // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Yestestvennyye nauki i tekhnosfernaya bezopasnost'. Sbornik statey [Traditions and innovations in construction and architecture. Natural sciences and technosphere safety. Digest of articles]. – Samara: SGASU, 2016. – P. 148-150. [in Russian]
7. Pamyatniki prirody Kuybyshevskoy oblasti [Monuments of nature of the Kuibyshev region]. – Kuybyshev: Kn. publishing house, 1986. – 154 p. [in Russian]
8. Rodniki Samarskoy oblasti [Springs of the Samara region]. – Samara, 2002. – 531 p. [in Russian]
9. Sovremennyye resursy podzemnykh i poverkhnostnykh vod Yevropey-skoy chasti Rossii: formirovaniye, raspredeleniye, ispol'zovaniye [Modern groundwater and surface water resources of the European part of Russia: formation, distribution, use]. – M.: GEOS, 2015. – 320 p. [in Russian]
10. Solov'yeva V. V. Strategiya razvitiya ekosistem prirodno-tekhnicheskikh vodoyemov Srednego Povolzh'ya [Strategy for the development of ecosystems of natural and technical reservoirs of the Middle Volga] / V. V. Solov'yeva // Vestnik OGU [Bulletin of OSU]. – 2008. № 10. – P. 179-187. [in Russian]
11. Shakirova A.R. Flora rodnikov Kamyshlinskogo rayona Samarskoy oblasti [Flora of springs of Kamyshlinsky district of Samara region] / A. R. Shakirova, V. N. Il'ina // Ekologicheskiy sbornik 2: Trudy molodykh uchenykh Povolzh'ya [Ecological collection 2: Works of young scientists of the Volga region]. – Tol'yatti: IEVB RAN, «Kassandra», 2009. – P. 201-204. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.019>СОДЕРЖАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЛИПИДНО-УГЛЕВОДОРОДНОГО КОМПЛЕКСА МОЛЛЮСКОВ В  
ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Научная статья

Миронов О.А.<sup>1,\*</sup>, Муравьева И.П.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-2083-3221;<sup>1,2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр  
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

\* Корреспондирующий автор (mironov87[at]gmail.com)

## Аннотация

Прибрежные акватории приморских городов имеют большое хозяйственное и рекреационное значение. Здесь концентрируются загрязняющие вещества, поступающие как со стороны берега, так и со стороны моря, в то же время происходит наиболее массовый контакт людей с морской средой. Важная роль во взаимодействии с загрязняющими веществами принадлежит прибрежным зарослевым сообществам макрофитов. В севастопольском регионе обширные подводные заросли образует бурая водоросль *Cystoseira barbata* (Stackh.) C. Agardh (1920), на талломах которой обитают различные представители брюхоногих и двустворчатых моллюсков, таких как *Rissoa splendida* (Eichwald, 1830), *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778), *Gibbula divaricata* (Linnaeus, 1758), *Tricolia pullus* (Linnaeus, 1758), *Parvicardium exiguum* (Gmelin, 1791), *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791). В работе приводятся данные по содержанию общих липидов и нефтяных углеводородов в этих моллюсках. Определение содержания в моллюсках общих липидов проводилось по цветной реакции с фосфованилиновым реактивом с последующим денситометрированием, а нефтяных углеводородов – методом инфракрасной спектроскопии. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать обитающих на цистозире наиболее массовых моллюсков *Rissoa splendida* в качестве новых индикаторных видов для оценки малых уровней нефтяного загрязнения в прибрежной морской зоне черноморского побережья Крымского полуострова. Одновременно эти гидробионты могут использоваться для оценки микробиопотоков нефтяных углеводородов при прогнозе экологических последствий нефтяного загрязнения прибрежных акваторий.

**Ключевые слова:** липиды, нефтяные углеводороды, брюхоногие и двустворчатые моллюски, прибрежная акватория.

ONTENTS OF LIPID-HYDROCARBON COMPLEX COMPONENTS IN MOLLUSCS IN SEVASTOPOL  
OFFSHORE STRIP (BLACK SEA)

Research article

Mironov O.A.<sup>1,\*</sup>, Muravyova I.P.<sup>2</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-2083-3221;<sup>1,2</sup> Federal State Budgetary Institution of Science, Federal Research Center, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the  
Southern Seas, Sevastopol, Russia

\* Corresponding author (mironov87[at]gmail.com)

## Abstract

The offshore strips of coastal cities are of a great economic and recreational importance. They concentrate pollutants from both a coast and a sea, while at the same time providing the most significant contact of people with the marine environment. An important role in the interaction with pollutants belongs to coastal overgrown communities of macrophytes. As for the Sevastopol region, brown alga *Cystoseira barbata* (Stackh.) C. Agardh (1920) forms the vast underwater marine growth; its thalli are inhabited by various representatives of gastropods and bivalves, such as *Rissoa splendida* (Eichwald, 1830), *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778), *Gibbula divaricata* (Linnaeus, 1758), *Tricolia pullus* (Linnaeus, 1758), *Parvicardium exiguum* (Gmelin, 1791), *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791). The paper presents data on the content of total lipids and petroleum hydrocarbons in these mollusks. The content of total lipids in mollusks was determined by a color reaction with a phosphovaniline reagent followed by densitometry, and petroleum hydrocarbons by infrared spectrometry. The results of the studies allow us to recommend the most common mollusks *Rissoa splendida* living on the *Cystoseira* as new indicator species for assessing low levels of oil pollution in the offshore strip of the Black Sea coast of the Crimean peninsula. At the same time, these hydrations can be used to assess the microbiological flows of petroleum hydrocarbons in predicting the environmental consequences of oil pollution of coastal waters.

**Keywords:** lipids, petroleum hydrocarbons, gastropods and bivalves, offshore strip.

## Введение

Изучение экологического состояния прибрежной акватории Севастополя остается актуальным в связи с развитием города. Особое значение имеет мелководная прибрежная акватория, которая используется как рекреационная зона, а с другой стороны, здесь происходит концентрация загрязняющих веществ, попадающих со стороны открытого моря (нефть) и смываемых с берега, где нефтяные углеводороды (НУ) присутствуют в большом количестве [1].

Липиды и нефтяные углеводороды тесно связаны между собой, поскольку накопление нефтяных углеводородов происходит преимущественно в тканях, богатых липидами. В этой связи эти соединения часто объединяют в единый липидно-углеводородный комплекс. Некоторые авторы считают липиды эволюционными предшественниками углеводородов.

Важная роль во взаимодействии с загрязняющими веществами принадлежит прибрежным зарослевым сообществам макрофитов. Полученные в этом направлении материалы были опубликованы в различных изданиях, включая материалы конференций, и в настоящее время возникла необходимость в их обобщении. Поскольку исследования проводились в зарослях прибрежных макрофитов, то первая попытка такого обобщения охватывала данные по подводной растительности [2]. Данная работа является логическим продолжением цитируемой выше работы, однако объектом исследования стали массовые моллюски, обитающие на прибрежных макрофитах, а предметом исследования – содержание в них общих липидов и нефтяных углеводородов. При этом рассматриваются основные источники поступления в моллюски углеводородов и их выведение, что вносит определенный вклад в изучение микробиопотоков нефтяных углеводородов в прибрежной зоне моря.

### Материал и методы

Отбор проб проводился в мае – сентябре 2018 г. в прибрежной акватории Севастополя на двух станциях, имеющих различную гидродинамическую активность и антропогенную нагрузку (рис. 1).

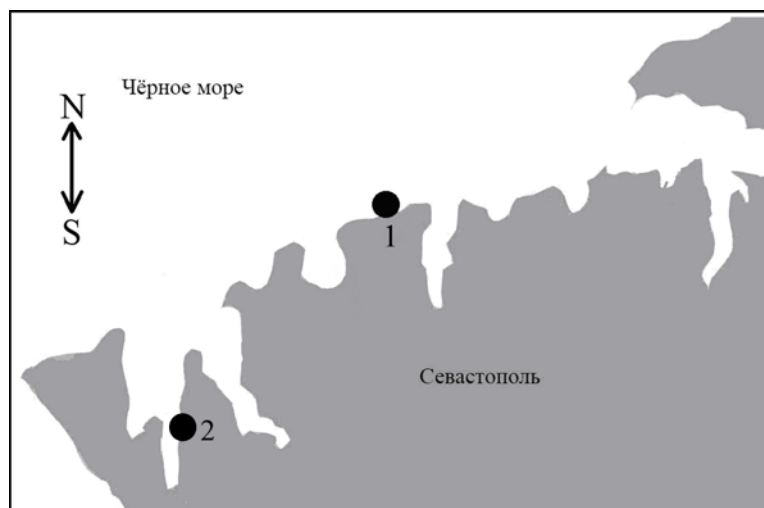


Рис. 1 – Схема станций отбора проб. Станция 1 – акватория парка Победы, станция 2 – б. Казачья

Станция 1 располагалась на открытом галечном пляже парка Победы, а станция 2 – на песчаном пляже в глубине б. Казачьей. Собранные образцы бурой водоросли *Cystoseira barbata* (около 1 кг сырого веса) помещались в пластиковые пакеты и доставлялись в лабораторию. Здесь с талломов макрофитов пинцетом собирались брюхоногие и двусторчатые моллюски, которые затем помещались в сушильный шкаф и при температуре 105°C доводились до суховоздушного состояния. Дальнейшая обработка проб проводилась по гостированной методике [3]. Липидно-углеводородный комплекс из навесок высушенных и измельченных образцов экстрагировали смесью хлороформ-этанол (в соотношении 2:1). Количество общих липидов определяли по цветной реакции с фосфованилиновым реактивом с последующим денситометрированием. Все анализы проводили в трехкратной повторности. Нефтяные углеводороды в гидробионтах определяли методом экстракции четырёххлористым углеродом с последующей очисткой на оксиде алюминия. Количество НУ определяли в инфракрасном спектре (волновое число 2700 – 3100 см<sup>-1</sup>) на ИК Фурье спектрофотометре ФСМ 1201.

### Результаты и обсуждение

В 60-70-х годах прошлого века, когда уровень нефтяного загрязнения Севастопольских бухт был высок, и часто в прибрежной зоне над зарослями цистозирры визуально фиксировалось скопление нефтепродуктов. В этот период проведены работы по изучению влияния нефти на массовые организмы, в частности, обитающих в зарослях макрофитов. При этом в экспериментах использовались концентрации нефти, превышающие уровень ПДК в сотни раз [5].

При изучении влияния различных нефтепродуктов на выживаемость гастропод, обитающих на макрофитах, было установлено, что наиболее чувствительным является моллюск *R. splendida*, что представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние различных нефтепродуктов в морской воде в концентрации 1 мл/л на 50% и 100% гибель моллюсков (сутки от начала эксперимента)

Нефть (нефтепродукты)	<i>B. reticulatum</i>		<i>G. divaricata</i>		<i>R. splendida</i>	
	50%	100%	50%	100%	50%	100%
Анастасиевская	12	21(80)*	11	21(60)*	4	9
Малосернистая арчадинская	10	14	10	11	4	7
Урусинская обессоленная	15	21(70)*	15	21(80)*	4	7
Ромашкинская	15	21(60)*	18	21(80)*	5	7
Малосернистая малгобекская	6	12	10	12	3	5
Керосин	+	+	+	+	3,5	1,5
Мазут флотский	2	6	+	+	0,5	1,5

Примечание: \* - 100 % -ная гибель не наступила (в скобках дан процент погибших организмов за 20 суток); (+) – 90 % оставались жизнеспособными в течение восьми суток

Как видно из таблицы 1, некоторое число *B. reticulatum* и *G. divaricata* не погибали в морской воде, содержащей высокие концентрации нефти (свыше 20 суток). Это позволяет утверждать, что существующие в настоящее время в этом районе уровни нефтяного загрязнения морской воды не являются токсичными для живущих на макрофитах моллюсков.

В этой связи изучалось накопление наиболее чувствительным моллюском *R. splendida* НУ в условиях низких концентраций нефти в морской воде. Поскольку материал собирался в мелководной зоне, то оно происходило в теплое время года (май - сентябрь), когда волновая активность была минимальной и организмы не смывались с водорослей. Полученные результаты приведены на рис. 2.

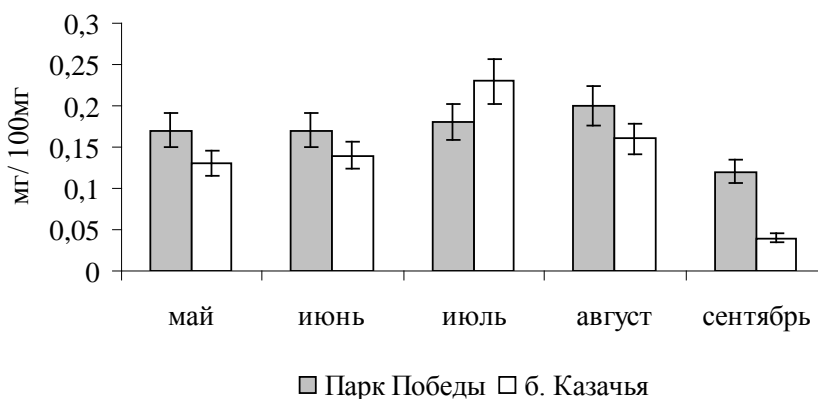


Рис. 2 – Среднее содержание НУ в *R. splendida* в теплое время 2018 г.

Средние значения содержания НУ в *R. splendida*, собранной на станциях 1 и 2 были практически идентичны и находились в пределах  $0,16 \pm 0,01$  мг/100 мг. Некоторое увеличение уровня НУ в июле и августе можно объяснить пиком рекреационной нагрузки и увеличением активности маломерных прогулочных судов.

Помимо *R. splendida*, уровни нефтяного загрязнения изучались и на других моллюсках, обитающих в зарослях цистозир. В моллюсках *Bittium reticulatum* в среднем содержалось  $0,36 \pm 0,04$  мг/100 мг НУ. В моллюсках *Tricolia pullus* среднее содержание НУ в 2018 г. составляло  $0,25 \pm 0,01$  мг/100 мг. Средние величины НУ в *G. divaricata* на обеих станциях были близки в пределах  $0,11 \pm 0,03$  мг/100 мг. Схожую картину наблюдали при изучении НУ в митилидах (в основном, *Mytilaster lineatus*). Средние величины НУ в митилидах были несколько выше и находились в пределах  $0,26 \pm 0,06$  мг/100 мг, что можно объяснить их способом питания – фильтрацией.

Поскольку в живых организмах липиды постоянно сопутствуют углеводам и имеют сходные с ними химические свойства, они являются фактором, способным влиять на накопление НУ в гидробионтах. В то же время при нефтяной интоксикации наблюдается так называемое «жировое перерождение» тканей - повышение содержания липидов в гидробионтах. При этом, что было отмечено нами в ряде черноморских организмов, идет увеличение фракций триглицеридов и холестерина.

Уровень содержания общих липидов в моллюсках составлял: *Bittium reticulatum* –  $1,22 \pm 0,11$ , *Rissoa splendida* –  $1,48 \pm 0,15$ , *Gibbula divaricata* –  $1,02 \pm 0,05$ , *Tricolia pullus* –  $1,12 \pm 0,08$ , *Mytilaster lineatus* –  $1,36 \pm 0,12$  мг/100 мг, за исключением *Parvicardium exiguum*, количество липидов в котором ( $0,82 \pm 0,05$  мг/100 мг) было примерно в 1,5 раза ниже.

Накопленная в организме моллюсков нефть затем выводится из организма с фекалиями. На основании литературных данных по встречаемости *Rissoa splendida* [8], [9], опубликованных данных по аллометрическим характеристикам моллюска [7] и его питания [6] был проведен примерный расчет участия этого моллюска в микропотоке НУ в прибрежной мелководной акватории [5]. Полученная величина составила 0,13 мг НУ в сутки с одного килограмма живой цистозир.

Поскольку в доступной научной литературе мы не встретили аналогичных количественных данных по питанию моллюска биттиума, то расчёты микробиопотока НУ через этот организм будут весьма приблизительными. Путём аналогичных расчётов, проведенных с моллюском *R. splendida* получена величина 0,04 мг НУ в сутки с одного килограмма нативной цистозир.

В связи с еще меньшей встречаемостью других моллюсков, обитающих в зарослях цистозир в прибрежной акватории Севастополя, данных по содержанию НУ в их фекалиях получить не удалось. Можно предположить, что вклад этой группы моллюсков в общий микробиопоток НУ в прибрежной зоне ещё менее значителен. При этом из литературных данных следует [10], [11], что моллюск *Mytilaster lineatus*, обитающий на бетонных стенках гидротехнических сооружений активно участвует в процессах самоочищения прибрежных акваторий от нефтяного загрязнения, формируя естественный биофильтр.

#### Закключение

Полученные данные по содержанию нефтяных углеводородов и общих липидов в массовых моллюсках, зарослевых сообществ макрофитов в прибрежной акватории Севастополя позволяют рекомендовать в качестве нового индикаторного вида для экологического мониторинга брюхоногого моллюска *Rissoa splendida*. Приведенные расчетные данные по выведению и накоплению нефтяных углеводородов этими моллюсками являются основой для последующего изучения биопотоков НУ в прибрежных акваториях. Приведенные данные свидетельствуют о

необходимости учета биологической составляющей при переносе нефтяных углеводородов прибрежной зоне моря, включая аварийные ситуации.

#### Финансирование

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 0828-2019-0006).

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Funding

This work was financed by the Government research and development program No. 0828-2019-0006 "Molismological and biogeochemical foundations of homeostasis of marine ecosystems" in the Federal State Budgetary Institution of Science, Federal Research Center, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Мионов О. Г. Состав органических компонентов ливневых стоков в районе г. Севастополя / О. Г. Мионов // Материалы международной конференции «Оценка расположения на суше источников загрязнения морей, омывающих государства СНГ». Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, – 1992. – С. 81 – 84.
2. Мионов О. Г. Углеводородно-липидный состав макрофитов в прибрежной акватории Севастополя / О. Г. Мионов, О. А. Мионов, И. П. Муравьева, А. И. Острцова. // Энергетические установки и технологии. – 2017. – Т. 3. № 1. – С. 130 – 135.
3. Леоненко И.И. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) / И.И. Леоненко, В. П. Антонович А. М. Андрианов, И. В. Безлущкая, К. К. Цымбалюк // Методы и объекты химического анализа. 2010. – Т. 5, №2. – с. 58 – 72.
4. Мионов О. А. Нефтяные углеводороды в массовых организмах зарослевых сообществ в прибрежной зоне Севастополя (Черное море) / О. А. Мионов // Автореф. канд. дисс. биол. наук. Севастополь, – 2014. – 24 с.
5. Мионов О. Г. Нефтяное загрязнение и жизнь моря / О. Г. Мионов // – Киев: Наук. Думка, – 1973. – 86 с.
6. Мионов О. Г. Влияние нефти и нефтепродуктов на морские организмы и их сообщества / О. Г. Мионов // Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. Т. 4, Л.: Гидрометиздат, – 1985. – 136 с.
7. Гаевская Н. С. Питание и пищевые связи животных, обитающих среди донной растительности и в береговых выбросах Чёрного моря / Н. С. Гаевская // Тр. ин-та океанологии. – 1954. – Т. 8. – С. 269 – 290.
8. Макаров М. В. Экологические особенности *Gastropoda (Mollusca)* верхней сублиторали Крыма (Черное море) / М. В. Макаров // Автореф. канд. дисс. биол. наук. Севастополь, – 2008. – 21 с.
9. Маккавеева Е. Б. Беспозвоночные зарослей макрофитов Черного моря. / Е. Б. Маккавеева // Киев : Наук. Думка, 1979. – 228 с.
10. Соловьева О. В. Митилидное обрастание отдельных гидротехнических сооружений в прибрежных акваториях Севастополя (Крым, Черное море) / О. В. Соловьева // Экология и строительство. – 2019. – №2. – с. 27 – 34.
11. Соловьева О. В. Процессы самоочищения на гидротехническом сооружении с обильным митилидным обрастанием / О. В. Соловьева, Н. В. Бурдиян // Вода: химия и экология. 2018. № 10-12. С. 84-90.

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

1. Mironov O. G. Sostav organicheskikh komponentov livnevyyh stokov v rajone g. Sevastopolja [The composition of the organic components of storm water in the area of Sevastopol] / O. G. Mironov // Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Ocenka raspolozhenija na sushe istochnikov zagriznenija morej, omyvajushhih gosudarstva SNG» [Materials of the international conference "Assessment of the location on land of sources of pollution of the seas washing the CIS countries]. Sevastopol', JeKOSI-Gidrofizika, – 1992. – P. 81 – 84. [in Russian]
2. Mironov O. G. Uglevodorodno-lipidnyj sostav makrofitov v pribrezhnoj akvatorii Sevastopolja [The hydrocarbon-lipid composition of macrophytes in the coastal waters of Sevastopol] / O. G. Mironov, O. A. Mironov, I. P. Murav'eva, A. I. Ostrecova. // Jenergeticheskie ustanovki i tehnologii [Power plants and technologies]. – 2017. – V. 3. № 1. – P. 130 – 135. [in Russian]
3. Leonenko I.I. Metody opredeleniya nefteproduktov v vodah i drugih ob"ektah okruzhayushchej sredy (obzor) [Methods for the determination of oil products in waters and other environmental objects (review)] / I.I. Leonenko, V P. Antonovich, A M Andrianov, I V Bezluckaya, K. K. Cymbalyuk // Metody i ob"ekty himicheskogo analiza [Methods and objects of chemical analysis]. 2010. – V. 5, №2. – P. 58 – 72. [in Russian]
4. Mironov O. A. Neftjanye uglevodorody v massovyh organizmah zaroslevykh soobshhestv v pribrezhnoj zone Sevastopolja (Chernoe more) [Petroleum hydrocarbons in mass organisms of overgrown communities in the coastal zone of Sevastopol (Black Sea)] / O. A. Mironov // Avtoref. kand. diss. biol. nauk. [dis. ... of PhD in Biology] Sevastopol', – 2014. – 24 p. [in Russian]
5. Mironov O. G. Neftjanoe zagriznenie i zhizn' morja [Oil pollution and sea life] / O. G. Mironov // – Kiev: Nauk. Dumka, – 1973. – 86 p. [in Russian]
6. Mironov O. G. Vlijanie nefiti i nefteproduktov na morskije organizmy i ih soobshhestva [Influence of oil and oil products on marine organisms and their communities] / O. G. Mironov // Problemy himicheskogo zagriznenija vod Mirovogo okeana [Problems of chemical pollution of the waters of the World Ocean]. V. 4, L.: Gidrometizdat, – 1985. – 136 p. [in Russian]
7. Gaevskaja N. S. Pitanie i pishhevyje svyazi zhivotnyh, obitajushhih sredi donnoj rastitel'nosti i v beregovykh vybrosah Chjornogo morja [Nutrition and food relations of animals living among bottom vegetation and in coastal emissions of the Black Sea] / N. S. Gaevskaya // Tr. in-ta okeanologii [Studies of the Oceanology institute]. – 1954. – V. 8. – P. 269 – 290. [in Russian]

8. Makarov M. V. Jekologicheskie osobennosti Gastropoda (Mollusca) verhnjej sublitorali Kryma (Chernoe more) [Ecological features of Gastropoda (Mollusca) of the Crimean upper sublittoral (Black Sea) / M. V. Makarov// Avtoref. kand. diss. biol. nauk. [dis. ... of PhD in Biology] Sevastopol', – 2008. – 21 p. [in Russian]
9. Makkaveeva E. B. Bespozvonochnye zaroslej makrofitov Chernogo morja [Invertebrate thickets of macrophytes of the Black Sea] /E. B. Makkaveeva//. Kiev : Nauk. Dumka, 1979. – 228 p. [in Russian]
10. Solov'eva O. V. Mitilidnoe obrastanie otidel'nyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij v pribrezhnyh akvatorijah Sevastopolja (Krym, Chernoe more) [Militid fouling of individual hydraulic structures in the coastal waters of Sevastopol (Crimea, Black Sea)] /O. V. Solov'eva// Jekologija i stroitel'stvo [Ecology and Construction]. – 2019. – №2. – p. 27 – 34. [in Russian]
11. Solov'eva O.V. Processy samoochishhenija na gidrotehnicheskom sooruzhenii s obil'nym mitilidnym obrastaniem [Self-cleaning processes in a hydraulic structure with abundant mitilid fouling] /O. V. Solov'eva, N. V. Burdijan// Voda: himija i jekologija [Water: chemistry and ecology]. 2018. № 10-12. P. 84-90. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.020>

## ОЦЕНКА ДЕКОРАТИВНЫХ КАЧЕСТВ НОВЫХ СОРТОВ ПИОНА СЕЛЕКЦИИ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА-ИНСТИТУТА УФИЦ РАН

Научная статья

Реут А.А.<sup>1, \*</sup>, Пупыкина К.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4809-6449;

<sup>1</sup> Южно-Уральский ботанический сад-институт - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия;

<sup>2</sup> Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

\* Корреспондирующий автор (cvetok.79[at]mail.ru)

### Аннотация

В результате оценки декоративности 20 сортов пиона селекции Южно-Уральского ботанического сада-института - обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН по методике, разработанной в ботаническом саду Московского Государственного университета, выявлено, что после применения двух методов (визуальной оценки площади воспринимаемой цветовой поверхности и площади горизонтальной проекции цветкового пятна на куст пиона) отобраны наиболее декоративные культивары (Аппассионата, Июнь, Людмила Миронова, Мечта С.П. Королева, Огни Уфы, Полярник 8, Сабантуй, Утро Родины, Уфимец). Они рекомендованы для дальнейшего внедрения в производство и озеленение городов и населенных пунктов Республики Башкортостан.

**Ключевые слова:** сорта пиона, интродукция, декоративные качества, Республика Башкортостан.

## EVALUATION OF DECORATIVE QUALITIES OF NEW VARIETIES OF PEONY SELECTED BY SOUTH URAL BOTANICAL GARDEN-INSTITUTE OF UFA FEDERAL RESEARCH CENTER OF RAS

Research article

Reut A.A.<sup>1, \*</sup>, Pupykina K.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4809-6449;

<sup>1</sup> South Ural Botanical Garden-Institute, a structural unit of the Federal State Budget Scientific Institution of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia;

<sup>2</sup> Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

\* Corresponding author (cvetok.79[at]mail.ru)

### Abstract

Applying two methods (visual assessment of the area of the perceived color surface and the area of the horizontal projection of the color spot on the peony bush) the authors selected the most decorative cultivars species (Appassionata, Ijun', Lyudmila Mironova, Mechta S.P. Koroleva, Ogni Ufy, Polyarnik 8, Sabantuy, Utro Rodiny, Ufimets) as a result of assessing the decorativeness of 20 peony varieties selected by the South Ural Botanical Garden-Institute, a structural unit of the Federal State Budget Scientific Institution of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences according to the method developed in the Botanical Garden of Moscow State University. These varieties are recommended for further implementation in the production and landscaping of cities and towns of the Republic of Bashkortostan.

**Keywords:** peony varieties, introduction, decorative qualities, Republic of Bashkortostan.

### Введение

Неприхотливость, высокая декоративность, реальные и потенциальные источники лекарственного сырья, все эти ценные качества привлекают внимание человечества к представителям рода *Paeonia* L., на протяжении более 2000 лет. Согласно литературным источникам, в корнях пионов обнаружены свободные салициловая и бензойная кислоты, эфирные масла, дубильные вещества, пионофлуоресцин, глюкозид салицин [1].

В результате проведенного ранее биохимического анализа различного сырья пионов селекции Южно-Уральского ботанического сада-института - обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН (далее ЮУБСИ УФИЦ РАН) установлено, что в листьях в максимальных количествах накапливаются аскорбиновая кислота и крахмал; в корнях – сахара; в стеблях – клетчатка; в цветках – каротиноиды и протеин [2]. Среди сортов максимальные значения натрия, кальция, меди и йода отмечены у сорта Ольга Кравченко. Показано наличие 14 аминокислот (лизин, метионин, цистеин, гистидин, аргинин, треонин, серин, пролин, глицин, валин, изолейцин, лейцин, тирозин, фенилаланин), 9 из которых являются незаменимыми. Максимальное накопление аминокислот наблюдается в листьях. Сумма незаменимых аминокислот составляет 2,51-4,88 мг/%, сумма всех аминокислот 5,96-9,46 мг/%, что отражает биологическую ценность объектов исследования [3].

Несмотря на свою значимость и популярность, пионы до сих пор все еще не получили должного распространения в озеленении и ландшафтном дизайне. Одной из причин следует считать несовершенство методов оценки декоративных качеств пионов для целей озеленения [4], [5].

Целью работы было изучение декоративных признаков новых сортов пиона селекции Южно-Уральского ботанического сада-института - обособленного структурного подразделения Федерального государственного

бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН, выделение из них наиболее перспективных для включения в ассортимент культивируемых растений, используемых в озеленении.

### Методы и принципы исследования

Объектами исследований стали двадцать сортов пиона (Аврора, Аркаим, Аппассионата, Иремель, Июнь, Людмила Миронова, Мечта С.П. Королева, Мустай Карим, Надежда, Огни Уфы, Песня Курая, Полярник 8, Сабантуй, Салават, Торнадо, Урал Батыр, Утро Родины, Уфимец, Чингиз Хан, Юбилей Революции) селекции ЮУБСИ УФИЦ РАН [6], [7]. Так как наибольшая декоративность у пионов проявляется на 4-5 год выращивания, то были отобраны для изучения растения в соответствующем возрасте, высаженные по схеме 100х100 см в одинаковых агротехнических условиях. Повторяемость каждого варианта опыта составила 5 особей.

Сравнительная оценка проводилась по методике, разработанной в ботаническом саду МГУ [8]. Оценивалась визуальная площадь воспринимаемой цветовой поверхности, показывающей, как человек в целом воспринимает декоративность растений в период цветения. Данный показатель представляет собой сумму баллов по следующим признакам: окраска цветка, диаметр цветка, форма цветка, количество цветков, расположение цветков на растении. Наиболее важным декоративным признаком (большое количество цветков, крупный диаметр, махровость, а также светло окрашенные соцветия) присвоен наивысший балл - 20. В сумме по пяти позициям максимальная оценка может составлять 100 баллов. По мере уменьшения важности признака (меньшее количество цветков, средний и мелкий диаметр, окраска темных тонов) уменьшается и присвоенный балл (табл. 1).

Таблица 1 – Визуальная оценка площади воспринимаемой цветовой поверхности у сортов пиона

Название сорта	Окраска цветка		Диаметр цветка		Форма цветка		Количество цветков		Расположение цветков на растении	Сумма в баллах
	цвет	баллы	см	баллы	тип	баллы	штуки	баллы	баллы	
Аврора	роз.	18	16	15	М	20	16	15	20	88
Аркаим	роз.	18	16	15	М	20	11	10	20	83
Аппассионата	роз.	18	16	15	М	20	23	20	20	93
Иремель	роз.	18	15	15	М	20	16	15	20	88
Июнь	бел.	20	16	15	М	20	18	15	20	90
Людмила Миронова	роз.	18	17	18	М	20	25	20	20	96
Мечта С.П. Королева	красн.	15	16	15	М	20	25	20	20	90
Мустай Карим	роз.	18	15	15	М	20	18	15	20	88
Надежда	роз.	18	16	15	М	20	16	15	20	88
Огни Уфы	роз.	18	18	18	М	20	15	15	20	91
Песня Курая	роз.	18	16	15	М	20	17	15	20	88
Полярник 8	бел.	20	16	15	М	20	20	20	20	95
Сабантуй	роз.	18	17	18	ПМ	18	22	20	20	94
Салават	роз.	18	14	15	М	20	16	15	20	88
Торнадо	борд.	10	14	15	ПМ	18	10	10	20	73
Урал Батыр	роз.	18	14	15	М	20	16	15	20	88
Утро Родины	бел.	20	16	15	М	20	20	20	20	95
Уфимец	роз.	18	18	18	ПМ	18	21	20	20	94
Чингиз Хан	борд.	10	16	15	ПМ	18	20	20	20	83
Юбилей Революции	роз.	18	14	15	М	20	22	20	20	93

Примечание: цвет - роз. - розовый, красн. - красный, борд. - бордовый, бел. - белый; тип - М - махровый, ПМ – полумахровый

### Основные результаты

Анализ результатов показал, что для пионов во время цветения характерна большая площадь воспринимаемой цветовой поверхности (табл. 1). Сорта Людмила Миронова, Полярник 8, Сабантуй, Утро Родины, Уфимец имеют самую большую визуальную площадь воспринимаемой цветовой поверхности (94-96 баллов), что напрямую связано с количеством цветков на растении, формой и окраской цветка. Сорта Аппассионата, Юбилей Революции, Июнь, Огни Уфы, Мечта С.П. Королева получили от 90 до 93 баллов, что также отражает их декоративную ценность. Семь сортов (Аврора, Иремель, Мустай Карим, Надежда, Песня Курая, Салават, Урал Батыр) имеют относительно низкую визуальную площадь воспринимаемой цветовой поверхности (88 баллов). Это связано с малым количеством цветущих побегов от общего количества стеблей в растении и небольшим диаметром цветка. Три сорта (Аркаим, Чингиз Хан и Торнадо) были оценены в 73-83 балла, что связано с темной окраской цветка или малым количеством цветущих побегов [9].

Для сравнения объективной количественной оценки была вычислена площадь горизонтальной проекции цветкового пятна на куст растения, согласно методике, разработанной в ботаническом саду МГУ [10]. Для этого использовали данные биометрических показателей декоративности: диаметр и количество цветков. Площадь

горизонтальной проекции одного цветка вычисляли по формуле площади круга. Затем полученные значения умножали на количество цветков на одном растении. Результат - площадь проекции цветового пятна на куст, в кв. м. (табл. 2). Этот показатель наглядно показывает, какую цветочную нагрузку несут пионы во время цветения, следовательно, насколько они декоративны.

Согласно анализу данных второго метода оценки можно заметить, что он частично подтвердил результаты визуального метода. Сорта Людмила Миронова, Сабантуй, Уфимец имеют наибольшую площадь горизонтальной проекции цветового пятна на куст растения (более 0,50 кв.м). В промежуточной группе с показателями 0,35-0,50 кв.м. находятся семь сортов (Аппассионата, Июнь, Мечта С.П. Королева, Огни Уфы, Полярник 8, Утро Родины, Чингиз Хан). Сорта Аркаим, Иремель, Салават, Торнадо, Урал Батыр имеют наименьшую площадь (0,15-0,24 кв.м) (табл. 2, 3). Однако следует отметить, что есть некоторые расхождения, так сорт Чингиз Хан по площади проекции находится в группе с хорошими показателями, а по визуальной оценке он имел наименьшие баллы. Скорее всего, это связано с тем, что при визуальной оценке важное значение имеют окраска, диаметр и форма цветка, а у сорта Чингиз Хан по этим признакам наименьшее количество баллов. В то время как, при оценке горизонтальной площади проекции цветового пятна у данного сорта количество цветков достаточно большое, поэтому и показатели хорошие.

Таблица 2 – Площадь горизонтальной проекции цветового пятна у сортов пиона в кв. м

Название сорта	Количество цветков, шт.	Диаметр цветка, см	Площадь горизонт. проекции одного цветка, кв.м	Площадь горизонт. проекции цветового пятна на куст, кв. м
Аврора	16	16	0,020	0,32
Аркаим	11	16	0,020	0,22
Аппассионата	23	16	0,020	0,46
Иремель	16	15	0,018	0,29
Июнь	18	16	0,020	0,36
Людмила Миронова	25	17	0,023	0,58
Мечта С.П. Королева	25	16	0,020	0,50
Мустай Карим	18	15	0,018	0,32
Надежда	16	16	0,020	0,32
Огни Уфы	15	18	0,025	0,38
Песня Курая	17	16	0,020	0,34
Полярник 8	20	16	0,020	0,40
Сабантуй	22	17	0,023	0,51
Салават	16	14	0,015	0,24
Торнадо	10	14	0,015	0,15
Урал Батыр	16	14	0,015	0,24
Утро Родины	20	16	0,020	0,40
Уфимец	21	18	0,025	0,53
Чингиз Хан	20	16	0,020	0,40
Юбилей Революции	22	14	0,015	0,33

Таблица 3 – Лучшие сорта пиона селекции ЮУБСИ УФИЦ РАН по результатам разных методов оценки их декоративных признаков

№ п/п	Сорта с визуальной площадью воспринимаемой цветовой поверхностью более 90 баллов	№ п/п	Сорта с площадью горизонтальной проекцией цветового пятна более 0,35 кв.м
1	Аппассионата	1	Аппассионата
2	Июнь	2	Июнь
3	Людмила Миронова	3	Людмила Миронова
4	Мечта С.П. Королева	4	Мечта С.П. Королева
5	Огни Уфы	5	Огни Уфы
6	Полярник 8	6	Полярник 8
7	Сабантуй	7	Сабантуй
8	Утро Родины	8	Утро Родины
9	Уфимец	9	Уфимец
10	Юбилей Революции	10	Чингиз Хан

### Заключение

Таким образом, в результате оценки декоративности 20 сортов селекции ЮУБСИ УФИЦ РАН по методике, разработанной в ботаническом саду МГУ, выявлено, что после применения двух методов (визуальной оценки площади воспринимаемой цветовой поверхности и площади горизонтальной проекции цветового пятна на куст пиона) отобраны наиболее декоративные культивары (Аппассионата, Июнь, Людмила Миронова, Мечта С.П. Королева, Огни

Уфы, Полярник 8, Сабантуй, Утро Родины, Уфимец). Они рекомендованы для дальнейшего внедрения в производство и озеленение городов и населенных пунктов РБ.

#### Финансирование

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России» и в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН по теме АААА-А18-118011990151-7.

#### Конфликт интересов

Не указан

#### Funding

The work was carried out under the program of fundamental research of the RAS Presidium «Biodiversity of natural systems and biological resources of Russia» and within the framework of the state task of the SUBGI UFRC RAS on the topic АААА-А18-118011990151-7.

#### Conflict of Interest

None declared

#### Список литературы / References

1. Протасова Н. А. Химические элементы в жизни растений / Н. А. Протасова, А. Б. Беляев // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 3. – С. 32.
2. Реут А. А. Накопление и распределение биологически активных веществ в сырье некоторых таксонов рода *Paemonia* L. / А. А. Реут, С. Г. Денисова, К. А. Пупыкина // Химия растительного сырья. – 2019. – № 4. – С. 269 – 278.
3. Реут А. А. Изучение аминокислотного и элементного состава представителей семейства *Paemoniaceae* Rudolphi / А. А. Реут, Л. Н. Миронова // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2013. – № 3. – С. 61 – 63.
4. Васильева М. Ю. Методические указания по первичному сортоиспытанию пиона травянистого / М. Ю. Васильева. – Л.: Наука, 1972. – 32 с.
5. Методика государственного сортоиспытания декоративных культур. – М.: МСХ РСФСР, 1960. – 182 с.
6. Миронова Л. Пионы башкирской селекции / Л. Миронова, А. Реут // Цветоводство. – 2012. – № 3. – С. 19 – 22.
7. Миронова Л. Н. Пионы. Достижения отечественных селекционеров / Л. Н. Миронова, А. А. Реут // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17. – № 2. – С. 349 – 358.
8. Ефимов С. В. Методы оценки декоративных качеств видов, сортов и гибридов рода *Paemonia* L. / С. В. Ефимов // Научные труды / Московский государственный университет леса. – М.: МГУЛ, 2004. – Вып. 325. – С. 107 – 115.
9. Реут А. А. Биология и размножение представителей рода *Paemonia* L. при интродукции в лесостепной зоне Башкирского Предуралья: дис. ... канд. биол. наук : 03.02.01 : защищена 13.05.2010 / Реут Антонина Анатольевна. – Уфа: БашГУ, 2010. – 160 с.
10. Ефимов С. В. Комплексное изучение и оценка морфологических признаков пиона (*Paemonia* L.) при интродукции / С. В. Ефимов // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2014. – Т. 27 (66). – № 5. – С. 47 – 62.

#### Список литературы на английском языке

1. Protasova N. A. Khimicheskiye elementy v zhizni rasteniy [Chemical elements in plant life] / N. A. Protasova, A. B. Belyayev // Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal [Soros educational magazine]. – 2001. – V. 7. – № 3. – P. 32. [in Russian]
2. Reut A. A. Nakopleniye i raspredeleniye biologicheskii aktivnykh veshchestv v syrye nekotorykh taksonov roda *Paemonia* L. [Accumulation and distribution of biologically active substances in raw materials of some taxa of the genus *Paemonia* L.] / A. A. Reut, S. G. Denisova, K. A. Pupykina // Khimiya rastitel'nogo Syria [Chemistry of plant raw materials]. – 2019. – № 4. – P. 269 – 278. [in Russian]
3. Reut A. A. Izucheniye aminokislotochnogo i elementnogo sostava predstaviteley semeystva *Paemoniaceae* Rudolphi [Study of the amino acid and elemental composition of representatives of the *Paemoniaceae* Rudolphi family] / A. A. Reut, L. N. Mironova // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Ufa scientific center of the Russian Academy of Sciences]. – 2013. – № 3. – P. 61 – 63. [in Russian]
4. Vasilyeva M. Yu. Metodicheskiye ukazaniya po pervichnomu sortoispytaniyu piona travyanistogo [Guidelines for primary variety testing of herbaceous peony] / M. Yu. Vasilyeva. – L.: Nauka, 1972. – 32 p. [in Russian]
5. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya dekorativnykh kultur [Methods of state variety testing of ornamental crops]. – М.: MSKh RSFSR, 1960. – 182 p. [in Russian]
6. Mironova L. Piony bashkirskoy seleksii [Peonies of Bashkir selection] / L. Mironova, A. Reut // Tsvetovodstvo [Floriculture]. – 2012. – № 3. – P. 19 – 22. [in Russian]
7. Mironova L. N. Piony. Dostizheniya otechestvennykh selektsionerov [Peonies. Achievements of domestic breeders] / L. N. Mironova, A. A. Reut // Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii [Vavilov journal of genetics and selection]. – 2013. – V. 17. – № 2. – P. 349 – 358. [in Russian]
8. Efimov S. V. Metody otsenki dekorativnykh kachestv vidov, sortov i gibridov roda *Paemonia* L. [Methods for evaluating the decorative qualities of species, varieties, and hybrids of the genus *Paemonia* L.] / S. V. Efimov // Nauchnyye trudy [Proceedings] / Moskovskiy gosudarstvennyy universitet lesa. – М.: MGUL, 2004. – V. 325. – P. 107 – 115. [in Russian]
9. Reut A. A. Biologiya i razmnzheniye predstaviteley roda *Paemonia* L. pri introduksii v lesostepnoy zone Bashkirskogo Preduralia [Biology and reproduction of representatives of the genus *Paemonia* L. during introduction in the forest-steppe zone of the Bashkir pre-Urals]: dis. ... of PhD in Biology : 03.02.01 : defense of the thesis 13.05.2010 / Reut Antonina Anatolyevna. – Ufa: BashGU, 2010. – 160 p. [in Russian]
10. Efimov S. V. Kompleksnoye izucheniye i otsenka morfologicheskikh priznakov piona (*Paemonia* L.) pri introduksii [Comprehensive study and evaluation of morphological features of the peony (*Paemonia* L.) during introduction] / S. V. Efimov // Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya «Biologiya, khimiya» [Scientific notes of the Taurida national University of V. I. Vernadsky. Series «Biology, chemistry»]. – 2014. – V. 27 (66). – № 5. – P. 47 – 62. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.021>

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОСЕЛКА ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ И ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА МУРМАНСКА

Научная статья

Александрова Е.Ю.<sup>1</sup>, Светлова М.В.<sup>2</sup>, Троценко А.А.<sup>3,\*</sup><sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-4590-0550;<sup>1, 2, 3</sup> Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия

\* Корреспондирующий автор (trotcenko2007[at]yandex.ru)

## Аннотация

В статье кратко представлено описание и сравнительная характеристика почв, отобранных в 2019 году на восьми площадках в окрестностях поселка Дальние Зеленцы (Восточный Мурман) и на территории города Мурманска. Выявлено, что растительность на площадках представлена типичными тундровыми видами, подвергшиеся антропогенному воздействию и сукцессии. Большинство почв относится к кислым Al-Fe-гумусовым подзолам торфянистым. По гранулометрическому составу все образцы почв относятся к супесчаным. Почвенные организмы обитают преимущественно в верхнем органогенном горизонте. Основу почвенного биоценоза составляют *Ciliata*. Наибольшей встречаемостью обладают инфузории родов *Colpoda*, *Stylonychia* и *Oxytricha* sp. Изучение растительности, мощности и структуры профиля почв, оценка современного биоразнообразия протистофауны может иметь значение для мониторинга почвенного покрова и определения направления почвенных процессов.

**Ключевые слова:** почвенный биоценоз, физико-химический анализ почв, растительность.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF SOIL AND VEGETATION IN DALNIYE ZELENTSY VILLAGE AND CITY AREA OF MURMANSK

Research article

Alexandrova E.Yu.<sup>1</sup>, Svetlova M.V.<sup>1</sup>, Trotsenko A.A.<sup>1,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4590-0550;<sup>1, 2, 3</sup> Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

\* Corresponding author (trotcenko2007[at]yandex.ru)

## Abstract

This paper briefly presents the description and comparative characteristics of soils selected in 2019 at eight sites near the Dalnie Zelentsy village (East Murman) and on the territory of the city of Murmansk. It was revealed that the vegetation at the sites is represented by typical tundra species, subjected to anthropogenic impact and succession. Most soils are acidic Al-Fe-humus peaty podzols. By granulometric composition, all soil samples are sandy loam. Soil organisms live mainly in the upper organogenic horizon. *Ciliata* is the basis of soil biocenosis. The most common infusoria are the genera *Colpoda*, *Stylonychia* and *Oxytricha* sp. A study of the vegetation, thickness, and structure of the soil profile, and an assessment of the contemporary biodiversity of the protist fauna, may be important for monitoring the soil cover and determining the direction of soil processes.

**Keywords:** soil biocenosis, physicochemical analysis of soils, vegetation.

Суровые климатические особенности Крайнего Севера, состав почвы и особенности формирования растительного покрова определяют направление и интенсивность почвенных процессов [1], [2]. В условиях Севера незначительные антропогенные воздействия могут существенно повлиять на состав растительных сообществ, физико-химические характеристики верхних горизонтов почвы, активность почвенной биоты, а, следовательно, и на почвообразовательные процессы [7], [12]. Изучение растительности, мощности и структуры профиля почв, оценка современного биоразнообразия почвенной фауны может иметь значение для мониторинга почвенного покрова и его изменения под воздействием природных и антропогенных факторов [5], [6].

## Цель исследования

Провести описание и дать сравнительную характеристику почвам, отобранным в окрестностях поселка Дальние Зеленцы (Восточный Мурман) и на территории города Мурманска.

## Материалы и методы

Исследовано по 5 проб почв, собранных методом «конверта» летом 2019 года на, соответственно, восьми площадках в пос. Дальние Зеленцы (Восточный Мурман) и осенью 2019 года в городе Мурманске и его окрестностях (микрорайон Дровяное). Описана растительность [1], [5] и протистофауна исследуемых участков. Просмотр проб проводили при увеличении микроскопа «МИКМЕД» об.10х, ок.10х; микроскопа «МБС-10» об.7х, ок.8х. Количество организмов подсчитывали в одном поле зрения микроскопа в 10-ти кратной повторности. Проведен гранулометрический (т.е. относительное содержание в высушенной при 105 °С почве частиц различной величины / в весовых процентах) и проведен химический анализ почв с помощью тест-комплектов [2], [4].

## Результаты

*Краткий анализ растительности и почвы на площадках в районе поселка Дальние Зеленцы.*

Западный склон губы Ярнышной пологий, влажный. Растительность представлена кустарничками: вороника (*Empetrum hermaphroditum*), черника (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубика (*Vaccinium uliginosum*). Пятнами встречаются карликовые ивы (*Salix polaris*), березки (*Betula nana*) и типичная луговая растительность. Горизонты почвенного профиля: А<sub>0</sub> (подстилка, 3 см), А<sub>т</sub> (Н) (поверхностный, 10 см), А<sub>2</sub> (горизонт вымывания, 2 см), С – материнская порода – гранит. Данная почва Al-Fe-гумусовая подзолистая торфянистая.

Северный склон мыса Пробный пологий, переувлажненный. Доминирует вороника (*Empetrum hermaphroditum*). Встречается голубика (*Vaccinium uliginosum*), ива (*Salix polaris*). Здесь сформирован антропогенный луговой травостой: вейник (*Calamagrostis* sp.), овсяница (*Festuca* sp.) и мятлик (*Poa* sp.), произрастает иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*) и др. Наблюдаются грибные площадки, на камнях - лишайники рода *Peltigera*, *Nephroma arcticum*, *Verrucaria*. Горизонты почвенного профиля: А<sub>0</sub> (подстилка, 7 см), А<sub>т</sub> (Н) (поверхностный, 40 см), С – материнская порода - гранит. Почва торфяно-литоземная переувлажненная.

Южный склон (район Дальнего пляжа) сопки крутой. Растительный покров типичный тундровый. В кустарничковом ярусе доминирует вороника (*Empetrum hermaphroditum*), береза карликовая (*Betula nana*), дерен шведский (*Cornus suecica*). Мохово-лишайниковый ярус представлен кустистыми лишайники рода *Cladonia*, *Peltigera* и *Nephroma arcticum*. Горизонты почвенного профиля: А<sub>0</sub> (подстилка, 6 см), А<sub>т</sub> (Н) (поверхностный, 8 см), А<sub>2</sub> (подзолистый, 7 см), С – материнская порода - гранит. Почва Al-Fe-гумусовая подзолистая (карликовые подзолы).

Восточный склон Дальнего пляжа пологий, увлажненный. Доминируют кустистые лишайники (*Cladonia rangiferina*), вороника (*Empetrum hermaphroditum*), арктоус альпийский (*Arctostaphylos alpina*), береза карликовая (*Betula nana*). Точечно произрастает шведский дёрн (*Cornus suecica*), черника (*Vaccinium myrtillus*) и голубика (*Vaccinium uliginosum*). На камнях растут накипные и листоватые лишайники рода *Peltigera*, *Nephroma arcticum*. Горизонты почвенного профиля: А<sub>0</sub> (подстилка, 2 см), А<sub>т</sub> (Н) (поверхностный, 17 см), А<sub>2</sub> (подзолистый, 4 см), С – материнская порода - гранит. Почва Al-Fe-гумусовая подзолистая торфянистая.

Поселковая местность пологая. Растительность типичная луговая: вейник (*Calamagrostis* sp.), овсяница (*Festuca* sp.), мятлик (*Poa* sp.), горошек мышиный (*Vicia cracca*), иван – чай (*Chamaenerion angustifolium*), манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris*) и др. Также присутствуют кустики карликовой ивы (*Salix polaris*). Горизонты почвенного профиля: А<sub>0</sub> (подстилка, 3 см), А<sub>т</sub> (Н) (поверхностный, 5 см), С – материнская порода - гранит. Почва Al-Fe-гумусовая подзолистая торфянистая.

Итак, все исследуемые почвы были отнесены к подтипу Al-Fe-гумусовым подзолам. Почвы северного, западного и восточного склонов и в районе поселка относятся к Al-Fe-гумусовым подзолам торфянистым. Мощность торфянистого горизонта колебалась в диапазоне от 5 до 40 см в зависимости от экспозиции склона. Почва южного склона относится к Al-Fe-гумусовым подзолам, или карликовым подзолам.

*Краткий анализ растительности и почвы на площадках окрестностей города Мурманска.*

В городской черте выбрана территория у подножия склона между улицами Халтурина и Владимирская, где сформировалась типичная антропогенная луговая растительность: пырей ползучий (*Elytrigia repens*), лютик едкий (*Ranunculus acris* L.), щавель конский (*Rumex confertus* Willd.), манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.), клевер ползучий (*Trifolium repens* L.). На склоне заросли иван-чая (*Chamaenerion angustifolium* L.), купыря (*Anthriscus sylvestris* L.) и крапивы (*Urtica dioica* L.). Среди древесной растительности доминирует ива (*Salix* L.). Почвенный профиль городской почвы состоит из 2-х горизонтов: А<sub>0</sub> (подстилка, 1 см), U («урбик», 1,0 - 10,0 см с антропогенными включениями, т.е. 1 - 5% строительно-бытового мусора).

За пределами города исследовано два участка, различающихся по отношению к сторонам света, экспозиции, водному режиму и уровню антропогенной нагрузки. Выявлено, что облик растительности на этих участках подвергнут антропогенному изменению [6], [7]. Почвы относятся к Al-Fe-гумусовым подзолам.

По гранулометрическому анализу на всех площадках в почве преобладает песчаная фракция (от 54,5 до 70%), на пылевидную фракцию приходится от 33% до 42%. Доля глинистых частиц – минимальная и составляет от 0,2 до 1,6%. Все почвы исследуемых площадок супесчаные [9], [10].

По химическому составу все исследуемые почвы характеризуются повышенной гумусовой кислотностью (сравнительные данные Табл. 1, Табл. 2).

Таблица 1 – Химические характеристики почв в районе поселка Дальние Зеленцы

Показатели	северный склон	восточный склон	южный склон	западный склон	территория поселка
рН	4,2	4,9	4,6	4,1	4,1
аммоний, мг/л	3,0	3,0	0,2	0,2	0,2
нитрит-анионы, мг/л	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1
нитрат- анионы, мг/л	5,0	менее 1,0	менее 1,0	5,0	10,0

Повышенное содержание нитратов отмечено в поселковой почве (10,0 мг/л). Остальные показатели (аммоний, нитриты) соответствуют фоновым показателям, характерным для тундровых почв.

Таблица 2 – Химические характеристики почв в окрестностях города Мурманска

Показатели	Участок м/д ул. Халтурина и ул. Владимирской, г	мкр. Дровяное Участок № 1, г	мкр. Дровяное Участок № 2, г
рН	4,2	4,4	4,1
аммоний, мг/л	0,4	0,3	0,4
нитрит-анионы, мг/л	около 0,5	менее 0,1	менее 0,1
нитрат- анионы, мг/л	5,0	менее 1,0	5,0

*Протистофауна почвенных образцов* поселка Дальние Зеленцы колонизированы свободноживущими аэробными простейшими, самыми многочисленными из которых были жгутиконосцы и цисты микроорганизмов [8], [11].

Среди инфузорий чаще в пробах встречаются брюхоресничные инфузории *Oxytricha* sp. Реже - равноресничные инфузории *Colpoda* sp. и хищные *Didinium* sp. (1-3 экз. в п/з). Выявлено, что наибольшее видовое разнообразие протистофауны обнаружено в районах западного (губа Ярнышная), южного и восточного (Дальний пляж) склонах, а также на территории поселка (7 – 9 таксономических групп). Наименьшим видовым разнообразием характеризуется почвенная проба на северном склоне (мыс Пробный). Видовой состав протозоофауны на всех исследуемых площадках сходен.

В почвенной городской вытяжке доминируют брюхоресничные и равноресничные инфузории. Численность нематод была незначительной (1-2 экз. в п/з).

Сравнительная характеристика видового разнообразия протистофауны (индекс видового разнообразия Маргалефа) показала, что величина индекса на площадках Восточного Мурмана (Дальние Зеленцы) – 1,41, а на площадках г. Мурманска – 2,04. Наибольшим видовым разнообразием простейших и беспозвоночных характеризуются почвы участков мкр. Дровяное, что объясняется благоприятным воздушно-влажностным режимом почв, а, следовательно, доступностью биогенных элементов, необходимых для роста и развития микроорганизмов. Наименьшее видовое разнообразие отмечается в почвах мыса Пробный (торфяно-литоземы), вероятно, из-за их переувлажненности. На городских территориях (район ул. Владимирской и Халтурина) – это почвогрунты или урбоземы.

Таблица 3 – Встречаемость почвенных микроорганизмов:

1 –губа Ярнышная, 2 – мыс Пробный; 3 – южный склон район Дальнего пляжа; 4 – восточный склон Дальнего пляжа; 5 – территория поселка; 6 – г. Мурманск (ул. Владимирская и ул. Халтурина); 7 – участок №1 (мкр Дровяное); 8 – участок №2 (мкр Дровяное)

№ п/п	Таксономические группы	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Жгутиконосцы ( <i>Mastigophora</i> )	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Амебы ( <i>Amoeba</i> sp.)	-	-	-	+	-	-	+	-
3	Солнечники <i>Actinosphaerium</i> sp	-	-	-	-	-	-	-	+
4	Равноресничные инфузории ( <i>Holotricha</i> ) род не определен	+	-	+	+	+	-	-	-
5	Равноресничные инфузории <i>Bursaria</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+
6	Равноресничные инфузории <i>Colpoda</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
7	Кругоресничная инфузория <i>Vorticella</i> sp.	+	-	-	-	+	-	+	+
8	Брюхоресничные инфузории <i>Oxytricha</i> sp.	+	-	+	-	+	+	+	+
9	Брюхоресничные инфузории <i>Euplotes</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-
10	Брюхоресничные инфузории <i>Aspidisca</i> sp.	-	-	-	-	-	-	+	+
11	Хищные инфузории <i>Didinium</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-
12	Гастротриха ( <i>Gastrotricha</i> )	+	-	-	-	+	-	-	-
13	Коловратки <i>Philodina</i> sp.	+	+	+	+	+	-	+	+
14	Нематода ( <i>Nematoda</i> )	+	-	+	+	+	+	+	+
15	Цисты	+	+	+	+	+	+	+	+

Основу почвенного биоценоза составляют *Ciliata* (Табл. 3). Наибольшей встречаемостью обладают инфузории рода *Colpoda*. Отмечено, что морфологической адаптацией простейших, позволяющих им выживать в условиях промораживаемых тундровых и лесотундровых почв, являются меньшие размеры и измененная форма по сравнению с аналогичными организмами водоемов. В образцах были обнаружены солнечники - организмы, не характерные для почвенных биотопов. Факторами, оказывающими лимитирующее влияние на жизнеспособность протистов и беспозвоночных тундровых и лесотундровых почв, являются наличие свободной влаги и низкие температуры, что позволяет биоте вырабатывать адаптивные стратегии к окружающей среде [3], [12].

#### Выводы:

1. Растительность на площадках (губа Ярнышная, мыс Пробный, Дальний пляж) представлена типичными тундровыми видами. Отмечено антропогенное разрастание дерена шведского (*Cornus suecica*) и злаков на поселковой территории.

2. Облик растительности на площадках г. Мурманска подвергнут антропогенному изменению. Характер луговой растительности определяется синантропными видами: манжетка (*Alchemilla vulgaris* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens*), лютик едкий (*Ranunculus acris*), шавель конский (*Rumex confertus* Willd.) и др. Растительность мкр. Дровяное – подлесок из ивы с примесью березы, сформированный в результате сукцессии.

3. Большинство почв относится к Al-Fe-гумусовым подзолам торфянистым. Выделяются почвы с укороченным подзолистым горизонтом – «карликовые» подзолы (южный склон п. Дальние Зеленцы), а также торфяно-литоземы (мыс Пробный). Почвы в г. Мурманске – урбоземы с антропогенно преобразованным поверхностным горизонтом.

4. По гранулометрическому составу все образцы почв относятся к супесчаным. Почвы характеризуются повышенной кислотностью: pH = 4,1 - 4,9. Повышенное содержание нитратов отмечено в поселковой почве (Дальние Зеленцы) (10,0 мг/л).

5. Почвенные организмы обитают преимущественно в верхнем органогенном горизонте. Основу почвенного биоценоза составляют *Ciliata*. Наибольшей встречаемостью обладают инфузории родов *Colpoda*, *Stylonychia* и *Oxytricha* sp. Почвенных беспозвоночных обнаружено незначительное количество. Обнаружены солнечники - организмы, не характерные для почвенных биотопов.

6. Морфологической адаптацией простейших и беспозвоночных, позволяющих им выживать в условиях промораживаемых тундровых и лесотундровых почв, являются меньшие размеры и измененная форма по сравнению с аналогичными организмами, обитающими в водоемах. Данный вывод носит характер гипотезы и нуждается в детальном обосновании.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Виталь, А.Д. Растительность и ландшафты Восточного Мурмана (Баренцево море). Материалы V научной конференции Беломорской биологической станции МГУ: Сборник статей. / А.Д. Виталь. — М.: Изд. Русский университет, 2001. — С. 93 - 99.
2. Евдокимова, Г.А. Физико-химические и микробиологические характеристики почв тундры полуострова Рыбачий / Г.А. Евдокимова, Н.П. Мозгова, В.А. Мязин. - Почвоведение. 2018. № 1. С. 78-85.
3. Журавлева, Н.Г. Биоэкологические основы жизнедеятельности организмов в условиях Заполярья / Н.Г. Журавлева, Г.Г. Матишов, О. Оттесен, Е.В. Будилова, А.А. Троценко, Т.М. Ларина / [отв. ред. А.Д. Чинарина]; Мурман. мор. биол. ин-т Кольского науч. центра РАН. — Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. - 210 с.
4. Козаренко А. Е. Особенности химического состава почв Хибинского и Ловозерского массивов / А. Е. Козаренко, В. А. Семенов // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. — № 2(22). — 2016. — С. 62-72.
5. Королева, Н.Е. Зональные типы растительности и почв в тундрах Мурманской области / Н.Е. Королева, В.Н. Переверзев // Бюл. МОИП. Отд. Биол. — 2007.— Т. 112. — вып. 4. С. 23-30.
6. Королева, Н.Е. Трудности принятия синтаксономических решений в классификации тундровых сообществ / Н.Е. Королева / Материалы III Всероссийской научной конференции Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана. [отв. ред. С.В. Дёгтева]. 2018. С. 22-29.
7. Кутенков, С.А. Флора, растительность и особенности развития обширного склонового болота предгорий Хибин (Мурманская область) / С.А. Кутенков, О.Л. Кузнецов, Е.А. Боровичев, А.В. Разумовская, Е.И. Копейна, Н.Е. Королева / Материалы конференции «Х Галкинские Чтения» 2019. С. 111-113.
8. Мосина Л.В. Экологическая оценка влияния органических и минеральных удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы и продуктивность агроценозов в экстремальных погодных условиях / Л.В. Мосина, Г.Е. Мёрзлая. — Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2013. — №5. — С. 5-18.
9. Переверзев В. Н. Генетические особенности почв тундрового пояса Ловозерских гор (Кольский полуостров) // Почвоведение. — №5. — 2000. — С. 533-539.
10. Практикум по биологии почв: Учеб.пособие / Зенова Г.М., Степанов А.Л., Лихачева А.А., Манучарова Н.А. — М.: Изд-во МГУ, 2002. — 120 с.
11. Титова В.И. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества / В.И. Титова, А.В. Козлов - Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2012. — 64 с.
12. Троценко, А.А. Показатели резистентности организма человека как биоиндикатор качества окружающей среды / А.А. Троценко, Е.В. Будилова, Н.Г. Журавлева // Доклады по экологическому почвоведению. - 2013. - № 18. С. 99.

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

1. Vital, A.D. Rastitel'nost' i landshafty Vostochnogo Murmana (Barentsevo more). [Vegetation and landscapes of East Murman (Barents Sea). // Materialy V nauchnoy konferentsii Belomorskoy biologicheskoy stantsii MGU: Sbornik statey [Materials of V scientific conference of the White Sea Biological Station of Moscow State University: Collection of articles] / A.D. Vital. — М.: Publishing. Russian University, 2001. — P. 93 — 99. [in Russian]
2. Evdokimova, G.A. Fiziko-khimicheskiye i mikrobiologicheskkiye kharakteristiki pochv tundry poluostrova Rybachiy [Physicochemical and microbiological characteristics of tundra soils of Rybachy Peninsula] / G.A. Evdokimova, N.P. Mozgovaya, V.A. Myazin. — Pochvovedeniye [Soil science]. — 2018. — No. 1. — P. 78-85. [in Russian]
3. Zhuravleva, N.G. Bioekologicheskkiye osnovy zhiznedeystel'nosti organizmov v usloviyakh Zapolyar'ya [Bioecological basis of vital activity of organisms in conditions of Arctic] / N.G. Zhuravleva, G.G. Matishov, O. Ottesen, E.V. Budilova, A.A. Trotsenko, T.M. Larina / [Ed. by A.D. Chinarina]; Murman. pestilence. biol. Institute of Kola Scientific Center RAS. — Apatity: Publ. KSC RAS, 2013. — 210 p. [in Russian]
4. Kozarenko A. E. Osobennosti khimicheskogo sostava pochv Khibinskogo i Lovozerskogo massivov [Features of chemical composition of soils of Khibiny and Lovozersky massifs] / A. E. Kozarenko, V. A. Semenov // Vestnik MGPU. Seriya: Yestestvennyye nauki [Vestnik MGPU. Series: Natural Sciences]. — No. 2 (22). — 2016. — P. 62-72. [in Russian]
5. Koroleva, N.E. Zonal'nyye tipy rastitel'nosti i pochv v tundrakh Murmanskoy oblasti [Zonal types of vegetation and soil in tundra of the Murmansk region] / N.E. Koroleva, V.N. Pereverzev // Byul. MOIP. Otd. Biol [Bull. of MOIP. Dep. Biol.] — 2007. — V. 112. — Issue. 4. — P. 23-30. [in Russian]
6. Koroleva, N.E. Trudnosti prinyatiya sintaksonomicheskikh resheniy v klassifikatsii tundrovyykh soobshchestv [Difficulties in making syntactic decisions in the classification of tundra communities] / N.E. Koroleva / Materialy III Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii Bioraznoobrazie ekosistem Kraynego Severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana [Materials of III All-Russian Scientific Conference Biodiversity of Far North Ecosystems: Inventory, Monitoring, Protection]. ed. by S.V. Dyogteva. — 2018. — P. 22-29. [in Russian]
7. Kutenkov, S.A. Flora, rastitel'nost' i osobennosti razvitiya obshirnogo sklonovogo bolota predgoriy Khibin (Murmanskaya oblast') [Flora, vegetation, and developmental features of vast sloping bog of Khibiny foothills (Murmansk region)] / S.A. Kutenkov, O.L. Kuznetsov, E.A. Borovichov, A.V. Razumovskaya, E.I. Kopein, N.E. Koroleva / Materialy konferentsii «X Galkinskiye Chteniya» [Materials of “X Galkin Readings” conference] — 2019. — P. 111-113. [in Russian]

8. Mosina L.V. Ekologicheskaya otsenka vliyaniya organicheskikh i mineral'nykh udobreniy na mikrofloru dernovo-podzolistoy pochvy i produktivnost' agrotsenozov v ekstremal'nykh pogodnykh usloviyakh [Ecological assessment of influence of organic and mineral fertilizers on microflora of sod-podzolic soil and productivity of agrocenoses in extreme weather conditions] / L.V. Mosin, G.E. Merzlaya. / Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy]. – 203. – No. 5. – P. 5-18. [in Russian]
9. Pereverzev V.N. Pereverzev V. N. Geneticheskiye osobennosti pochv tundrovogo poyasa Lovozerskikh gor (Kol'skiy poluostrov) [Genetic features of soils of tundra belt of Lovozero Mountains (Kola Peninsula)] // Pochvovedeniye [Soil Science]. – No. 5. – 2000. – P. 533-539. [in Russian]
10. Praktikum po biologii pochv: Ucheb.posobiye [Workshop on soil biology: Textbook] / Zenova G.M., Stepanov A.L., Likhacheva A.A., Manucharova N.A. – M.: Publishing House of Moscow State University, 2002. – 120 p. [in Russian]
11. Titova V.I. Metody otsenki funktsionirovaniya mikrobiotsenoza pochvy, uchastvuyushchego v transformatsii organicheskogo veshchestva [Methods for assessing functioning of soil microbiocenosis involved in transformation of organic matter] / V.I. Titova, A.V. Kozlov – Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod agricultural Academy, 2012. – 64 p. [in Russian]
12. Trotsenko, A.A. Pokazateli rezistentnosti organizma cheloveka kak bioindikator kachestva okruzhayushchey sredy [Indicators of resistance of human body as bio-indicator of environmental quality] / A.A. Trotsenko, E.V. Budilova, N.G. Zhuravleva // Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu [Reports on ecological soil science]. – 2013. – No. 18. – P. 99. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.022>**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОРЧИ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ**

Научная статья

**Икрами М.Б.<sup>1,\*</sup>, Тураева Г.Н.<sup>2</sup>, Шарипова М.Б.<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Технологический университет Таджикистана, Душанбе, Республика Таджикистан

\* Корреспондирующий автор (mavzuna-83[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье рассмотрены результаты исследований антиоксидантной активности водных экстрактов, полученных из различных частей растений семейства яснотковых (губоцветных) – мяты полевой, мяты садовой, Melissa лекарственной, базилика фиолетового. Было выявлено, что водные экстракты из растений семейства яснотковых – мяты полевой и садовой, базилика фиолетового и Melissa лекарственной, можно применять как безопасные антиоксиданты в технологии растительных масел и жиродержащих продуктов, таких как мясной фарш. Показано, что наибольшей антиоксидантной активностью обладают экстракты из базилика фиолетового, наименьшей – экстракты мяты садовой. Также было изучено влияние на сохранность мяса количества растительных экстрактов.

Экстракты из растений семейства яснотковых, содержащие фенольные соединения различных классов по своей антиоксидантной активности не уступают синтетическим антиоксидантам. Проведенные исследования по изучению возможности применения экстрактов из некоторых растений семейства яснотковых в качестве антиоксидантов для жиров и жиродержащих продуктов, показывают, что указанные экстракты можно использовать для предотвращения или замедления окислительных процессов, приводящих к снижению пищевой ценности и срока хранения продовольственных продуктов.

**Ключевые слова:** антиоксиданты, экстракты, мяты полевой, мяты садовой, Melissa, мясной фарш.

**STUDYING POSSIBILITY OF USING VEGETABLE PHENOLIC COMPOUNDS TO PREVENT DAMAGE TO MEAT PRODUCTS**

Research article

**Ikrami M.B.<sup>1,\*</sup>, Turaeva G.N.<sup>2</sup>, Sharipova M.B.<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Technological University of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

\* Corresponding author (mavzuna-83[at]mail.ru)

**Abstract**

The paper discusses the results of studies of the antioxidant activity of water extracts obtained from various parts of the plants of the family of Lamiaceae (Labiaceae) – field mint, garden mint, lemon balm, purple basil. It was found that water extracts from plants of the family Lamiaceae – field and garden mint, violet basil, and lemon balm can be used as safe antioxidants in the technology of vegetable oils and fat-containing products, such as minced meat. It was shown that the extracts from violet basil have the highest antioxidant activity, and the extracts of garden mint have the least activity. The effect of the number of plant extracts on meat safety was also studied.

The extracts from plants of the Lamiaceae family containing phenolic compounds of various classes are not inferior to synthetic antioxidants in their antioxidant activity. Studies conducted on the feasibility of using extracts from some plants of the family of Lamiaceae as antioxidants for fats and fat-containing products show that these extracts can be used to prevent or slow down oxidative processes, leading to a decrease in nutritional value and shelf life of food products.

**Keywords:** antioxidants, extracts, field mint, garden mint, lemon balm, minced meat.

**Введение**

Проблема увеличения сроков хранения скоропортящихся мясных продуктов – одна из актуальных в мясоперерабатывающей промышленности.

Причинами порчи мяса является дезаминирование аминокислот (прямого, восстановительного, окислительного, гидролитического) при гниении мяса, а также жизнедеятельность остаточной микрофлоры, при которой могут окисляться и гидролизироваться жиры. Окисление и гидролиз жиров могут происходить также под воздействием кислорода и влаги воздуха. При этом не только значительно ухудшаются органолептические свойства мясных продуктов – вкус, цвет и аромат, обуславливающие его потребительские качества и сокращается срок хранения. Накапливающиеся в результате окислительных процессов первичные и вторичные продукты окисления (пероксиды и гидропероксиды, свободные жирные кислоты, альдегиды и кетоны, амины) снижают пищевую ценность продуктов за счет изменения химического состава, а нередко и из-за своей токсичности. Как показал анализ существующей литературы, одним из путей решения этой проблемы является применение антиоксидантов природного происхождения на основе растительного сырья. Это направление весьма актуально, так как помимо основной задачи – увеличения сроков хранения продукции при сохранении всех потребительских качеств, повышается его биологическая ценность за счет содержащихся в растительных экстрактах витаминов, эфирных масел, флавоноидов, катехинов и других фенольных веществ [1], [2], [3]. Необходимо учитывать так же то, что в процессе эволюции организм человека адаптировался к природным соединениям, к их соотношению и поэтому пищевые добавки природного происхождения, в том числе антиоксиданты, оказывают более мягкое физиологическое действие на организм, чем синтетические добавки.

### Методы и объект исследования

Нами было изучена возможность применения экстрактов из мяты полевой мяты садовой, базилика фиолетового и мелиссы лекарственной в качестве антиоксидантов в технологии мясных продуктов. Опытными образцами при изучении влияния растительных экстрактов на сохранность мяса, служил фарш из говядины, в который вводились растительные экстракты в количестве 1 % от массы образца мясного фарша. Порча образцов определялась по органолептическим показателям, по содержанию летучих жирных кислот, которые образуются в мясе в результате химического и микробиологического дезаминирования белков, а также по кислотному числу, которое изменяется вследствие окислительных и гидролитических процессов жировой составляющей мяса. В образцах фарша с экстрактами и в контрольном образце непосредственно после внесения экстрактов определялись органолептические показатели, содержание летучих кислот, кислотное число. Затем эти определения проводились в образцах фарша через 5, 10, 15 дней после внесения экстрактов. В промежутках между определениями образцы хранились в холодильнике при температуре 4-8°C.

В органолептическом методе порча мяса определяется по внешнему виду, консистенции, запаху, состоянию мышц и жира. По показателям этих свойств мясо и мясная продукция разделяется на свежее, сомнительной свежести и несвежее [4].

Результаты органолептического анализа показали, что в контрольном образце мясного фарша на пятые сутки хранения появляются признаки, характерные для категории «сомнительной свежести», что свидетельствует о начавшейся окислительной порче образца. Эти признаки усиливаются к 10 дню хранения. К концу срока эксперимента, окислительный процесс в образце приводит к значительной его порче. В опытных образцах окислительная порча проявляется позже – через пять дней хранения показатели качества мяса соответствуют норме. Первые признаки окислительной порчи проявляются к десятому дню хранения. К концу эксперимента опытные образцы соответствуют категории «сомнительной свежести».

С результатами органолептического анализа согласуются данные по определению содержания летучих жирных кислот, и кислотного числа в контрольных и опытных образцах (таблицы 1-2).

Таблица 1 – Содержание летучих жирных кислот в контрольном и опытных образцах

№	Экстракт	Количество летучих кислот в образцах мясного фарша, мг/100 г			
		При внесении экстракта	5 дней	10 дней	15 дней
1	Без экстракта	2,25	4,35	6,5	9,8
2	Мяты полевой	2,21	2,54	3,58	4,6
3	Мяты садовой	2,23	3,27	4,00	5,6
4	Базилика фиолетового	2,20	2,25	2,85	4,40
5	Мелиссы лекарственной	2,20	3,10	3,30	5,23

В соответствии с полученными результатами, в контрольных и опытных образцах мяса при хранении при температуре 5-8°C в течение 15 дней содержание летучих жирных кислот постепенно увеличивается и составляет в контрольном образце 9,8 мг КОН на 100 г образца, в опытных образцах, содержащих растительные экстракты - от 4,4 до 5,6 мг/100г. Сравнение значений содержания летучих кислот в контрольных и опытных образцах показывает, что после хранения в течение 15 суток содержание летучих жирных кислот в контрольном образце свидетельствует о порче образца, а в образцах с исследуемыми экстрактами соответствует нормам сомнительной свежести [5].

Значения кислотного числа исследуемых образцов (таблица 2) также подтверждают замедление появления признаков окислительных процессов в опытных образцах по сравнению к контролю.

Таблица 2 – Значения кислотного числа образцов в зависимости от времени хранения

№	Экстракт	Кислотное число образцов, мг/100 г			
		При внесении экстракта	5 дней	10 дней	15 дней
1	Без экстракта	0,80	1,40	2,25	3,00
2	Мяты полевой	0,80	1,10	1,60	2,20
3	Мяты садовой	0,80	1,25	1,85	2,60
4	Базилика фиолетового	0,80	0,90	1,10	1,80
5	Мелиссы лекарственной	0,80	1,00	1,38	2,00

Было также изучено влияние на сохранность мяса количества растительных экстрактов. Для этого в образцы мясного фарша вводились экстракты из вышеперечисленных растений в количестве 0,5%, 1% и 5% от массы фарша. В контрольном (без экстракта) и опытных образцах мясного фарша определялось содержание летучих кислот непосредственно после внесения экстрактов и через 15 дней после хранения образцов в холодильнике при температуре 5-8°C. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание летучих кислот в образцах мясного фарша с различным количеством экстракта после хранения в течение 15 дней

№	Экстракт	Содержание экстракта в мясном фарше, мг/100 г		
		0,5%	1,0%	5,0%
1	Без экстракта	9,74	9,68	9,54
2	Мята полевая	4,45	4,56	4,75
3	Мята садовая	5,21	5,78	6,43
4	Базилик фиолетовый	4,10	4,84	4,67
5	Мелисса лекарственная	4,93	5,25	5,65

Результаты приведенных экспериментов показали, что введение в образцы мясного фарша растительных экстрактов из мяты полевой, мяты садовой, базилика фиолетового и мелиссы лекарственной в исследуемых образцах мясного фарша во всех выбранных дозировках изменяет содержание летучих кислот. Значения показателей кислотного числа в образцах при различных дозировках отличаются незначительно и во всех случаях находятся в пределах допустимых норм. Одновременно определялись органолептические показатели исследуемых образцов, которые согласуются с содержанием летучих кислот в исследованных образцах.

#### Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволяют считать, что исследуемые растительные экстракты задерживают порчу мяса. Увеличение срока хранения такого нестойкого продукта, как мясной фарш, срок хранения которого по ГОСТу составляет при температуре 1-6<sup>0</sup>С 1 сутки (24 часа), при введении исследуемых растительных экстрактов составляет примерно 5 суток.

Также выявлено, что наибольшее замедление окислительных процессов вызывает экстракт базилика – и содержание летучих кислот, и кислотное число за 1 суток хранения образцов. Из всех исследованных экстрактов несколько слабее антиоксидантное воздействие экстракта мяты садовой.

Таким образом, проведенные исследования по изучению возможности применения экстрактов из некоторых растений семейства яснотковых в качестве антиоксидантов для жиров и жиросодержащих продуктов, показывают, что указанные экстракты можно использовать для предотвращения или замедления окислительных процессов, приводящих снижению пищевой ценности и срока хранения продовольственных продуктов. Сравнение антиоксидантной активности исследованных экстрактов с известными из литературы наиболее часто применяемыми антиоксидантами синтетического происхождения, например с ионолом, оксипутиланизолом или бутилокситолуолом (ионолом) показывает, что по своему действию экстракты из растений семейства яснотковых, содержащие фенольные соединения различных классов, не уступают синтетическим антиоксидантам. Например, бутилокситолуол уменьшает значение перекисного числа растительных масел через 14 суток хранения в 1,38 раз [6], исследованные нами экстракты мяты садовой и полевой, базилика и мелиссы – от 1,58 до 2,5 раз. По данным авторов [6], [7] экстракт из мяты перечной снижает перекисное число подсолнечного масла по сравнению с контрольным образцом в 2,1 раз, а экстракт индийского базилика – в 1,92 раза. Значения аналогичных показателей для исследованных нами экстрактов вполне сопоставимы с этими данными. Небольшие различия в значениях антиоксидантной активности вероятно связаны с видовой принадлежностью и условиями произрастания исследованных растений. Вместе с тем, растительные экстракты не оказывают токсического действия на организм человека, и их применение не требует гигиенического нормирования, как синтетические антиоксиданты [8]. Немаловажным является тот факт, что фенольные соединения, которые составляют доминирующую группу химических природных соединений в составе исследованных экстрактов, считаются функциональным элементом и продукты питания, содержащие их, относятся к продуктам с функциональными свойствами.

В связи с вышесказанным, водные экстракты из растений семейства яснотковых – мяты полевой и садовой, базилика фиолетового и мелиссы лекарственной, можно считать эффективными и экологически безопасными антиоксидантами и рекомендовать их применение в технологии растительных масел и жиросодержащих продуктов различных групп.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Митасева Л.Ф. Использование экстрактов растений в качестве антиоксидантов / Л.Ф. Митасева, П.С. Дегтярев, А.А. Селищева // Мясная индустрия. 2002. - № 12. - С. 28-29.
2. Толкунова Н.Н. Влияние экстрактов некоторых лекарственных растений на окислительные изменения липидов вареных колбасных изделий / Толкунова Н.Н., Бидюк А.Я. // Хранение и перераб. сельхозсырья. 2002. - № 10.-С. 51-53
3. Базарнова Ю.Г., Ингибирование радикального окисления пищевых жиров флавоноидными антиоксидантами /Ю.Г.Базарнова, Б. Я. Веретнов // Вопросы питания 2004. № 3. С 35-42.
4. ГОСТ 9959-2015 Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки.– МКС67.120.10–М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2016.
5. Ребезов М. Б. Технохимический контроль и управление качеством производства мяса и мясопродуктов: учебное пособие / Ребезов М. Б., Мирошникова Е. П., Богатова О. В. и др. - Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. - 107 с.
6. Сарафанова Л.А. Применение пищевых добавок в технологии в переработке мяса и рыбы. / Сарафанова Л.А. // Изд-во «Просвещение», 2007

7. Шмулович В.Г. Применение антиоксидантов в России для стабилизации жиров, пищевых и кормовых продуктов / В.Г. Шмулович // Вопросы питания. – 1994, №1 -2, с.42-44
8. Булдаков А.С. Пищевые добавки /Булдаков А.С.//С.-Пб.Ун.–1966.–240 с.
9. Тураева Г.Н. Применение природных фенольных соединений в качестве антиоксидантов в технологии жиросодержащих пищевых продуктов - автореферат диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Г.Н.Тураева. – Душанбе: Изд-во 2018. –32 с.
10. Журавская, Н.К. Технохимический контроль производства мяса и мясopодуkтов: учебник / Н.К. Журавская, Б.Е. Гутник, Н.А. Журавская. – М.: Колос, 2001. – 176 с.

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

1. Mitaseva L.F. Ispol'zovanie jekstraktov rastenij v kachestve antioksidantov [Use of plant extracts as antioxidants] / L.F. Mitaseva, P.S. Degtjarev, A.A. Selishheva // Mjasnaja industrija. 2002. - № 12. - P. 28-29. [in Russian]
2. Tolkunova N.N. Vlijanie jekstraktov nekotoryh lekarstvennyh rastenij na okislitel'nye izmenenija lipidov varennyh kolbasnyh izdelij [Effect of extracts of certain medicinal plants on oxidative changes in lipids of cooked sausages] / Tolkunova N.N., Bidjuk A.Ja. // Hranenie i pererab.sel'hozsy'r'ja. 2002. - № 10.-P. 51-53. [in Russian]
3. Bazarnova Ju.G., Ingibirovanie radikal'nogo okislenija pishhevyh zhиров flavonoidnymi antioksidantami [Inhibition of radical oxidation of food fats with flavonoid antioxidants] /Ju.G.Bazarnova, B .Ja. Veretnov // Voprosy pitaniya 2004. № 3. P 35-42. [in Russian]
4. GOST 9959-2015 Mjaso i mjasnye produkty. Obshhie uslovija provedenija organolepticheskoj ocenki. [Meat and meat products. General conditions for organoleptic evaluation] MKS67.120.10–M.: publishing house FGUP «STANDARTINFORM», 2016. [in Russian]
5. Rebezov M. B. Tehnohimicheskij kontrol' i upravlenie kachestvom proizvodstva mjasa i mjasoproduktov [Technochemical control and quality management of meat and meat products production] / Rebezov M. B., Miroshnikova E. P., Bogatova O. V.: uchebnoe posobie. - Cheljabinsk: IC JuUrGU, 2011. - 107 p. [in Russian]
6. Sarafanova L.A. Primenenie pishhevyh dobavok v tehnologii v pererabotke mjasa i ryby [Application of food additives in meat and fish processing technology]. / Sarafanova L.A. // publishing house «Prosveshhenie», 2007. [in Russian]
7. Shmulovich V.G. Primenenie antioksidantov v Rossii dlja stabilizacii zhиров, pishhevyh i kormovyh produktov [Use of antioxidants in Russia to stabilize fats, food and feed products] / V.G. Shmulovich // Voprosy pitaniya. – 1994, №1 -2, p.42-44. [in Russian]
8. Buldakov A.S. Pishhevye dobavki [Food additive] /Buldakov A.S.//S.-Pb.Ун.–1966.–240 p. [in Russian]
9. Turaeva G.N. Primenenie prirodnyh fenol'nyh soedinenij v kachestve antioksidantov v tehnologii zhировoderzhashhih pishhevyh produktov [Application of natural phenolic compounds as antioxidants in the technology of fat-containing foods] - abstract thesis for the degree of PhD in technical Sciences / G.N.Turaeva. – Dushanbe: publishing house 2018. –32 p. [in Russian]
10. Zhuravskaja, N.K. Tehnohimicheskij kontrol' proizvodstva mjasa i mjasoproduktov [Technochemical control of meat and meat products production]: textbook / N.K. Zhuravskaja, B.E. Gutnik, N.A. Zhuravskaja. – М.: Kolos, 2001. – 176 p.[in Russian]

## МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.023>**ВЗАИМОСВЯЗЬ САХАРОСНИЖАЮЩЕЙ ФАРМАКОТЕРАПИИ С УРОВНЕМ ДЕПРЕССИИ У КОМОРБИДНОГО ПАЦИЕНТА С СД 2 ТИПА**

Научная статья

**Сорокина Ю.А.<sup>1,\*</sup>, Сучилин Д.Н.<sup>2</sup>, Рудаков А.С.<sup>3</sup>, Занозин А.В.<sup>4</sup>, Занозина О.В.<sup>5</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-8430-237X;<sup>1, 2, 3, 5</sup> Приволжский Исследовательский Медицинский Институт, Нижний Новгород, Россия;<sup>4</sup> Государственное бюджетное медицинское учреждение Нижегородской области «Наркологическая больница», Нижний Новгород, Россия

\* Корреспондирующий автор (zwx[at]inbox.ru)

**Аннотация**

Данные фармако-эпидемиологического исследования ФОРСАЙТ-СД2 показывают, что пациенты с сахарным диабетом (СД) 2 типа имеют в среднем от 2 до 6 сопутствующих патологий, а глобальная статистика также указывает на то, что депрессивные состояния занимают всё большую долю среди коморбидных патологий. Недостаточность выявления и своевременной коррекции нарушений психо – эмоциональной сферы у пациентов с СД 2 типа сказывается не только на качестве жизни пациента, но и на эффективности сахароснижающей фармакотерапии. В свою очередь, сахароснижающая фармакотерапия может повлиять на развитие или прогрессирование депрессии. В данной работе рассматривается аспект дневной сонливости и депрессивных расстройств у пациентов с СД 2 типа на фоне терапии метформином в составе многокомпонентной фармакотерапии.

**Ключевые слова:** сахарный диабет 2 типа, депрессия, дневная сонливость, коморбидность, метформин, полипрагмазия.

**CORRELATION BETWEEN SUGAR-REDUCING PHARMACOTHERAPY AND DEPRESSION LEVEL IN COMORBID PATIENT WITH DIABETES MELLITUS TYPE 2**

Research article

**Sorokina Yu.A.<sup>1,\*</sup>, Suchilin D.N.<sup>2</sup>, Rudakov A.S.<sup>3</sup>, Zanozin A.V.<sup>4</sup>, Zanozina O.V.<sup>5</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-8430-237X;<sup>1, 2, 3, 5</sup> Privolzhsky Research Medical Institute, Nizhny Novgorod, Russia;<sup>4</sup> State Budgetary Medical Institution of the Nizhny Novgorod Region, "Narcological Hospital", Nizhny Novgorod, Russia

\* Corresponding author (zwx[at]inbox.ru)

**Abstract**

The data from the pharmacological and epidemiological study of FORSAIT-SD2 show that patients with diabetes mellitus (DM) type 2 have an average of 2 to 6 concomitant pathologies, and global statistics also indicate that depressive have an increasing share among comorbid pathologies. The lack of identification and timely correction of psychoemotional disorders in patients with diabetes mellitus type 2 affects not only the patient's quality of life but also the effectiveness of sugar-lowering pharmacotherapy. In turn, hypoglycemic pharmacotherapy can affect the development or progression of depression. This paper discusses the aspect of daytime sleepiness and depressive disorders in patients with diabetes mellitus type 2 with metformin therapy as part of multicomponent pharmacotherapy.

**Keywords:** diabetes mellitus type 2, depression, daytime sleepiness, comorbidity, metformin, polypharmacy.

**Введение**

По данным многоцентровых, международных фармако – эпидемиологических исследований сахарный диабет (СД) 2 типа представляет собой комплекс коморбидных патологий, развивающихся и прогрессирующих более интенсивно с прогрессированием основного заболевания [1]. Осложнения, как диабетические, так и недиабетические значительно сокращают продолжительность и качество жизни пациентов [2]. Одним из факторов, влияющих на качество жизни, может быть депрессивное состояние [3], что в свою очередь уменьшает приверженность пациента к фармакотерапии и, следовательно, ее эффективность [4]. В свою очередь, сахароснижающая фармакотерапия может повлиять на развитие или прогрессирование депрессии. В частности, существует предположение, что дефицит витамина В<sub>12</sub> может влиять на усугубление депрессии [5]. Длительный прием метформина, как показывают некоторые исследования, способен вызывать декомпартментализацию цианокобаламина [6], что, вероятно, может сказаться с течением времени на психо – эмоциональном фоне пациента с СД 2 типа [7].

**Материалы и методы**

Обследовано 40 пациентов с сахарным диабетом 2 типа, длительностью заболевания приблизительно 10 лет (10,8). Проведение исследования было одобрено Локальным этическим комитетом при ГБУЗ НО «НОКБ им. Н.А. Семашко» (Нижний Новгород) и проведено на базе эндокринологического отделения данной больницы. С пациентами проведена процедура получения информированного согласия. Для установления факта нарушений в эмоционально – волевой сфере использованы шкалы депрессии Бека (Beck Depression Inventory) шкала дневной сонливости Epworth (Epworth Sleepiness Scale). Для расчета коэффициента коморбидности использовался калькулятор Чарлсона (Charlson comorbidity index calculator). Чем выше индекс, тем более тяжелые соматические заболевания имеет пациент и снижается % его 10-летней выживаемости (0 баллов 99%, 1- 96%, 2 -90%, 3 -77%, 4 -53%, 5 -21%)

Критерии для оценки дневной сонливости по шкале Epworth (Epworth Sleepiness Scale). (норма — 0–3 баллов; бессонница — 3–9 баллов; СОАГС (Синдром обструктивного апноэ — гипопноэ сна) — 9–16 баллов, нарколепсия — 16–24 балла), для оценки депрессии — шкала Бека (Beck Depression Inventory) (0–9 норма, 10–18 от легкой до умеренной депрессии, 19–29 депрессия средней тяжести, 30–63 тяжелая депрессия.) Полученные данные были обработаны при помощи пакета Statistica 10.0 (Statsoft, США) с использованием непараметрических критериев (распределение отличное от нормального).

### Результаты и обсуждение

По сопутствующим заболеваниям, продолжительности СД 2 типа и возрасту пациенты мужского и женского пола были сопоставимы. Доза метформина варьировала от 500 до 2000 мг в сутки. Комбинированная фармакотерапия, включающая глиптины (вилдаглиптин 100 мг в сутки), инсулинотерапия (24 ЕД инсулина короткого действия и 26 ЕД инсулина продленного действия), эмпаглифлозин (25 мг в сутки) в той или иной степени присутствовала у 90% пациентов.

В соответствии со шкалой сонливости Эпворта в среднем у обследованных пациентов с СД 2 типа фиксировалась пограничная инсомния. Уровень показателя депрессии составил 16, что соответствует легкой и умеренной депрессии. При этом показатель уровня депрессии ( $r=0,048$ ) и сонливости ( $r=0,039$ ) коррелировал значимо ( $p<0,05$ ) с дозой метформина как при комбинированной, так и при монотерапии и не коррелировал с величиной дозы других сахароснижающих препаратов.

Уровень депрессии также сильно зависел от показателя коэффициента коморбидности пациента ( $r=0,78$ ,  $p<0,001$ ), зависимость сонливости от индекса коморбидности была недостаточно сильной ( $r=0,38$ ,  $p=0,05$ ). С учетом того, что продолжительность течения СД 2 типа у обследованных пациентов составила 10 лет, за весь этот период ни один не обращался за помощью к специалисту с целью назначения соответствующих лекарственных средств для коррекции эмоционального фона. При этом стоит отметить, как нами было показано ранее, признаки умеренной депрессии, а также тревожности у пациентов выявляются и при первичной постановке диагноза, то есть при впервые выявленном сахарном диабете 2 типа [8].

Уровень депрессии коррелировал с возрастом ( $r=0,45$ ) и не коррелировал с показателями сонливости. Таким образом, можно предположить, что депрессивное состояние развивается у пациентов с СД 2 типа независимо от качества сна.

Уровень сонливости и депрессии был высок независимо от степени компенсации углеводного обмена, все пациенты были декомпенсированы и уровень гликированного гемоглобина в среднем был выше целевого на 1% [9].

Таблица 1 – Показатели включенных в исследование пациентов (Me[25p;75p])

Показатель	Значение
возраст	59,5 [54,00;67,00]
продолжительность СД2, лет	10,8 [8,5;11,2]
пол М/Ж	16:23
сонливость	8,00 [6,00;9,00]
депрессия	16,00 [7,50;20,00]
коморбидность	10,25 [8,00;11,95]
Доза метформина, мг	1000 [1000;2000]
Доза эмпаглифлозина, мг	25
Доза инсулина короткого действия, ЕД	24 [18;30]
Доза продленного инсулина, ЕД	26 [20;28]

Вероятно, корреляция уровня депрессии с дозой метформина объясняется тем, что с возрастом у пациентов более отягощенный анамнез (таблица 1), в том числе, прогрессирующий СД 2 типа, что требует интенсификации фармакотерапии (в том числе увеличение дозы метформина). Однако влияние метформина на уровень витамина В<sub>12</sub> и связь с депрессией неоднократно отмечалась исследователями [7], [10]. Таким образом, не только коморбидность и возраст пациента [11], но и длительный прием метформина в повышающихся дозах, приводящие к дефициту цианокобаламина, может вносить свой вклад в прогрессировании депрессии. Также дефицит витамина В<sub>12</sub> может быть связан с изменением диеты пациентов с СД 2 типа с целью снижения веса, которая ограничивает потребление животного белка, в частности мяса [12].

Поэтому дальнейшие исследования в этой сфере необходимы для предупреждения развития и прогрессирования психо – неврологических нарушений у пациентов, принимающих метформин, с течением возраста.

### Заключение

Коморбидным пациентам с СД 2 типа с увеличением возраста требуется не только коррекция углеводного обмена, но психофармакологическая помощь для коррекции психо – эмоционального фона, повышения качества жизни. С учетом того, что с возрастом показатели ухудшаются, изменение образа жизни могут быть уже не столь эффективны, и главную роль станет играть медикаментозная терапия коморбидных патологий.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

**Список литературы / References**

1. Демидова Т.Ю. Лечение больных сахарным диабетом 2 типа и коморбидными заболеваниями / Демидова Т.Ю. // Что необходимо знать практикующему врачу? // РМЖ. Медицинское обозрение. - 2019. - №10(II). - С. 123-126
2. Ausili D. Self-care, quality of life and clinical outcomes of type 2 diabetes patients: an observational cross-sectional study / Ausili D, Bulgheroni M, Ballatore P et al. // Acta Diabetol. - 2017. - Vol. 54(11). - P. 1001-1008. doi: 10.1007/s00592-017-1035-5.
3. Gómez-Pimienta E. Decreased Quality of Life in Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus Is Associated with Emotional Distress / Gómez-Pimienta E., González-Castro T.B., Fresan A. et al. // Int J Environ Res Public Health. - 2019. - Vol. 16(15). - pii: E2652. doi: 10.3390/ijerph16152652.
4. Babenko A.Y. Mental state, psychoemotional status, quality of life and treatment compliance in patients with Type 2 diabetes mellitus / Babenko AY, Mosikian AA, Lebedev DL et al. // J Comp Eff Res. - 2019. - Vol.8(2). - P. 113-120. doi: 10.2217/ce-2018-0105
5. Elstgeest L.E. Vitamin B12, homocysteine and depressive symptoms: a longitudinal study among older adults / Elstgeest L.E., Brouwer IA, Penninx B.W. et al. // Eur J Clin Nutr. - 2017. - Vol.71(4). - P. 468-475. doi: 10.1038/ejcn.2016.224.
6. Biemans E, Hart HE, Rutten GE, Cuellar Renteria VG, Kooijman-Buiting AM, Beulens JW. Cobalamin status and its relation with depression, cognition and neuropathy in patients with type 2 diabetes mellitus using metformin. Acta Diabetol. 2015 Apr;52(2):383-93. doi: 10.1007/s00592-014-0661-4. Epub 2014 Oct 15.
7. Сорокина Ю.А., Периферические и центральные эффекты сертралина у больных сахарным диабетом 2 типа: потенциал для снижения инсулинорезистентности. / Сорокина Ю.А., Занозин А.В., Ловцова Л.В. и др. // Эффективная фармакотерапия. - 2018. - № 30. - С. 34-37.
8. Сорокина Ю.А. Актуальность выявления и необходимость коррекции тревожных и депрессивных расстройств у больных сахарным диабетом 2 типа при плановой госпитализации / Сорокина Ю.А., Занозин А.В., Занозина О.В. и др. // Фарматека. - 2018. - № 11 (364). - С. 56-59.
9. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом / Под редакцией И.И. Дедова, М.В. Шестаковой, А.Ю. Майорова. - 9-й выпуск (дополненный). - М.; 2019. DOI: 10.14341/DM221S1
10. Lang U.E. Nutritional aspects of depression / Lang UE, Beglinger C, Schweinfurth N et al. // Cell Physiol Biochem. - 2015. - Vol. 37(3). - P.1029-1043. doi: 10.1159/000430229
11. Petridou E.T. Folate and B12 serum levels in association with depression in the aged: a systematic review and meta-analysis. / Petridou ET, Kousoulis AA, Michelakos T et al. // Aging Ment Health. - 2016. - Vol. 20(9). - P. 965-973. doi: 10.1080/13607863.2015.1049115
12. Hibbeln J.R. Vegetarian diets and depressive symptoms among men / Hibbeln JR, Northstone K, Evans J et al. // J Affect Disord. - 2018. - Vol. 225. - P. 13-17. doi: 10.1016/j.jad.2017.07.051.

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

1. Demidova T.Yu. Lechenie bol'nyh saharnym diabetom 2 tipa i komorbidnymi zabolevaniyami [Patient management with type 2 diabetes mellitus and comorbid diseases. Tips the practitioner should know] / Demidova T.Yu. // RMJ. Medical Review. 2019;10(II):123-126. [in Russian]
2. Ausili D. Self-care, quality of life and clinical outcomes of type 2 diabetes patients: an observational cross-sectional study / Ausili D, Bulgheroni M, Ballatore P et al. // Acta Diabetol. - 2017. - Vol. 54(11). - P. 1001-1008. doi: 10.1007/s00592-017-1035-5.
3. Gómez-Pimienta E. Decreased Quality of Life in Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus Is Associated with Emotional Distress / Gómez-Pimienta E., González-Castro T.B., Fresan A. et al. // Int J Environ Res Public Health. - 2019. - Vol. 16(15). - pii: E2652. doi: 10.3390/ijerph16152652.
4. Babenko A.Y. Mental state, psychoemotional status, quality of life and treatment compliance in patients with Type 2 diabetes mellitus / Babenko AY, Mosikian AA, Lebedev DL et al. // J Comp Eff Res. - 2019. - Vol.8(2). - P. 113-120. doi: 10.2217/ce-2018-0105
5. Elstgeest L.E. Vitamin B12, homocysteine and depressive symptoms: a longitudinal study among older adults / Elstgeest L.E., Brouwer IA, Penninx B.W. et al. // Eur J Clin Nutr. - 2017. - Vol.71(4). - P. 468-475. doi: 10.1038/ejcn.2016.224.
6. Biemans E, Hart HE, Rutten GE, Cuellar Renteria VG, Kooijman-Buiting AM, Beulens JW. Cobalamin status and its relation with depression, cognition and neuropathy in patients with type 2 diabetes mellitus using metformin. Acta Diabetol. 2015 Apr;52(2):383-93. doi: 10.1007/s00592-014-0661-4. Epub 2014 Oct 15.
7. Sorokina Yu.A. Perifericheskie i central'nye efekty sertralina u bol'nyh saharnym diabetom 2 tipa: potencial dlya snizheniya insulinorezistentnosti. [Peripheral and Central Effects of Sertraline in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: Potential for Insulin Resistance Reduction] / Sorokina Yu.A., Zanozin A.V., Lovtsova L.V. et al. // Effective pharmacotherapy. - 2018. - Vol 30. - P. 34-37. [in Russian]
8. Sorokina Yu.A. Aktual'nost' vyyavleniya i neobhodimost' korrektsii trevozhnyh i depressivnyh rasstrojstv u bol'nyh saharnym diabetom 2 tipa pri planovoy gositalizatsii [Problem of detection and pharmacological correction of anxious and depressive disorders in patients with type 2 diabetes mellitus] / Sorokina Yu.A., Zanozin A.V., Zanozina O.V. et al. // Pharmateca. - 2018. - Vol. 11 (364). - P. 56-59. doi: 10.18565/pharmateca.2018.11.56-59 [in Russian]
9. Algoritmy specializirovannoj medicinskoj pomoshchi bol'nym saharnym diabetom [Algorithms of specialized medical care for patients with diabetes mellitus] / edited by I.I. Dedova, M.V. Shestakovo, A.YU. Majorova. - 9th issue. adjusted- M.: UP PRINT; 2019. [in Russian]
10. Lang U.E. Nutritional aspects of depression / Lang UE, Beglinger C, Schweinfurth N et al. // Cell Physiol Biochem. - 2015. - Vol. 37(3). - P.1029-1043. doi: 10.1159/000430229
11. Petridou E.T. Folate and B12 serum levels in association with depression in the aged: a systematic review and meta-analysis. / Petridou ET, Kousoulis AA, Michelakos T et al. // Aging Ment Health. - 2016. - Vol. 20(9). - P. 965-973. doi: 10.1080/13607863.2015.1049115
12. Hibbeln J.R. Vegetarian diets and depressive symptoms among men / Hibbeln JR, Northstone K, Evans J et al. // J Affect Disord. - 2018. - Vol. 225. - P. 13-17. doi: 10.1016/j.jad.2017.07.051.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.024>

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРОЕНИЯ УРОЛИТОВ ИЗ ШТАТА МАДХЬЯ-ПРАДЕШ (ИНДИЯ) И УРОЛИТОВ ИЗ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ (РОССИЯ)**

Научная статья

**Полиенко А.К.<sup>1,\*</sup>, Черненко В.П.<sup>2</sup>, Севостьянова О.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID :0000-0001-6497-9818;

<sup>1,3</sup> Отделение геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ), Томск, Россия;

<sup>2</sup> Учреждение Российской Академии наук Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, Томск, Россия;

<sup>1,3</sup> Учебно-методический отдел Национального исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ), ведущий эксперт, кандидат геолого-минералогических наук, Томск, Россия

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

**Аннотация**

В статье приведены результаты исследования морфологии, структуры, минерального и химического состава уролитов из штата Мадхья-Прадеш (Индия) и уролитов из Томской области (Россия). Изучены морфология уролитов и их структурные особенности, а также минеральный состав и взаимоотношения между минералами. Сравнение морфологии, структуры и минерального состава уролитов, полученных от индийских пациентов, показало, что уролиты из индийского штата Madhya–Pradesh аналогичны уролитам из Сибирского региона.

**Ключевые слова:** уролиты, морфология, минеральный состав, структура.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF UROLITES STRUCTURE FROM OF MADHYA PRADESH (INDIA) STATE AND UROLITES FROM TOMSK REGION (RUSSIA)**

Research article

**Polienko A.K.<sup>1,\*</sup>, Chernenko V.P.<sup>2</sup>, Sevostyanova O.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID :0000-0001-6497-9818;

<sup>1,3</sup> Department of Geology, Engineering School of Natural Resources, National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Tomsk, Russia;

<sup>2</sup> The institution of the Russian Academy of Sciences, Institute of Physics of Strength and Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia;

<sup>1,3</sup> Instruction department of the National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Tomsk, Russia

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

**Abstract**

The paper presents the results of the study of morphology, structure, mineral and chemical composition of uroliths from the Madhya-Pradesh state (India) and uroliths from the Tomsk Region (Russia). The authors studied the morphology of uroliths and their structural features, as well as the mineral composition and relationships between minerals. The comparison of the morphology, structure and mineral composition of uroliths obtained from Indian patients showed that the uroliths from the Indian state of Madhya-Pradesh are similar to those from the Siberian region.

**Keywords:** uroliths, morphology, mineral composition, structure.

**Актуальность**

Актуальность исследований обусловлена значительным распространением мочекаменной болезни (уролитиаза) в мире.

**Цель**

Сравнительный анализ морфологии, структуры, минерального и химического состава уролитов из штата Мадхья-Прадеш (Индия) и уролитов из Томской области (Россия).

**Объекты**

Уролиты, удалённые у двух пациентов, проживающих в Индии (штат Мадхья-Прадеш), а также уролиты пациентов из Томской области.

**Методы**

Кристалломорфологический; поляризационно-оптический; рентгеноструктурный; электронно-микроскопический; лазерное микрозондирование; рентгено-фазовый метод; химические методы.

**Состояние изученности проблемы**

Отмечается [1], что мочекаменная болезнь (МКБ) среди всех урологических заболеваний составляет 32 – 40 %. Наибольшее распространение МКБ характерно для Малой Азии, Северной Австралии, Северо-Восточной Африки и южных областей Северной Америки. В Европе это заболевание встречается в Скандинавских странах, Англии, Нидерландах, Венгрии, Италии, южных районах Австрии, Германии и Испании, а также во всей Юго-Восточной Европе. Особенно часто МКБ встречается в Закавказье, на Урале, в Поволжье, Сибири, Заполярье, на Ближнем Востоке, в Индии, Средней Азии, Северной Америке.

Объектом настоящих исследований являются уrolиты, формирующиеся в мочевыделительной системе человека. Авторам статьи представилась уникальная возможность исследовать уrolиты от пациентов одного из штатов Индии и сравнить полученные результаты исследований с аналогичными данными по уrolитам из Сибирского региона (Томская область).

Образцы уrolитов от двух пациентов из индийского штата Мадхья-Прадеш представлены вторым автором настоящей статьи, Черненко В.П. (Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН), сотрудником компании «МедЛайн», которая разработала, производит и реализует электроимпульсный литотриптор «Уrolит».

В течение длительного времени внимание учёных различного научного профиля привлекает взаимная связь мира косного (неживого) и мира живого вещества. В последнее время определилось новое научное направление – «Основы медицинской геологии». В этой связи в предлагаемой вниманию читателей статье приведены материалы, относящиеся к таким наукам, как кристаллография, минералогия, биология, медицина.

Исследователи изучают этиологию МКБ, занимаются определением химического и минерального состава уrolитов, их морфологических и структурных особенностей, что имеет большое значение для разработки профилактических и лечебных мероприятий при МКБ.

В течение трёх десятилетий в Национальном исследовательском Томском политехническом университете проводится изучение уrolитов. Эта научно-исследовательская работа выполняется в сотрудничестве с ведущими специалистами учебных медицинских заведений и урологических отделений медицинских учреждений г. Томска.

По данному направлению исследований опубликован ряд статей, а также три монографии. Так, материалы по биоминерализации в организме человека и животных рассмотрены в коллективной монографии [4] учёных г. Томска. В монографии А.А. Кораго «Введение в биоминералогия» [6] впервые в бывшем Советском Союзе были изложены основы науки «Биоминералогия»; в трёхтомном сборнике украинского исследователя Ф.В. Зузука [7] приведены данные о распространении мочекаменной болезни среди населения мира. О взаимосвязи органических и неорганических веществ при формировании уrolитов описано в статье коллектива авторов [8]. В материалах 4-го международного Корейско-Российского симпозиума представлена статья А.К. Полиенко и Е.М. Дутовой с данными по изучению влияния водного фактора на формирование уrolитов в организме человека [9].

Значительную роль в исследовании уrolитов в мочевой системе человека сыграли российские ученые: А.А. Кораго [6], Б.И. Сребродольский [10], Н.П. Юшкин [11], В.И. Каткова, В.И. Ракин [12]. Среди зарубежных учёных, изучавших минералообразование в организме человека, следует отметить следующих: Ф.В. Зузук [7], Д. Мак-Коннелл [13], Н.А. Lowenstam [14], [15], С. Beckermann [16] и др.

#### **Уrolиты из штата Мадхья-Прадеш (Индия)**

Микроструктурно-морфологические исследования морфологии уrolитов проведены на бинокулярных микроскопах, а поляризационно-оптические исследования структуры и минерального состава – на микроскопе Polam. Детальные исследования позволили выявить некоторые особенности строения исследуемых объектов.

*Первый объект* – уrolит («Индия-1») – сферической формы, размером около 55 мм в диаметре (см. рисунок 1, а).



а



б

Рис. 1 – Уrolит «Индия-1»: а – общий вид; б – структура

Поверхность уrolита «Индия-1» представлена многочисленными почковидными (микросферолитовыми) образованиями, очень плотная. На сколе уrolита по его поверхности отмечена плотная оторочка (см. рисунок 1, б), размер которой составляет около 1 мм. В структуре уrolита чётко прослеживается ритмическая зональность. Структура центральной части мочевого камня пористая.

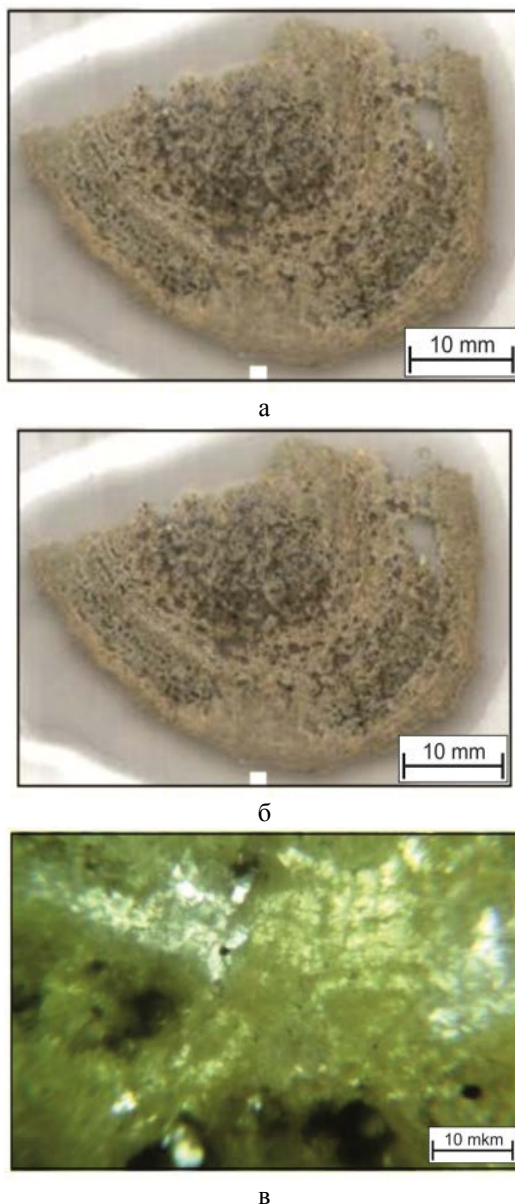


Рис. 2 – Шлиф уrolита «Индия-1»: а – поперечный срез; б – пористое строение; в – кристаллы мочевой кислоты в центре уrolита

Центр уrolита представлен сгустком органики (см. рисунок 2, а). Минеральная часть мочевого камня сложена кристаллическим веществом, относящимся к классу уратов. В поперечном срезе мочевого камня чередование зон представляет ритмическую (повторяющуюся) зональность. В шлифе (см. рисунок 2, б) выявлена пористая структура уrolита; по периферии наблюдается чёткая ритмическая зональность. Кристаллы мочевой кислоты погружены в органику (см. рисунок 2, в).

Химический и минеральный состав исследуемого уrolита:  $C_5H_4N_4O_3 \cdot 2H_2O$  – дигидрат мочевой кислоты, а также  $C_5H_4N_4O_3$  – мочевая кислота.

Второй объект – (множественные уrolиты «Индия-2») – представлен несколькими индивидами размером от 8 мм до 25 мм в поперечнике (см. рисунок 3, а). Более детально изучен больший из уrolитов «Индия-2» (размером 20 мм в поперечнике). В центральной части шлифа (см. рисунок 3, б) наблюдается ядро в виде сгустка органики.

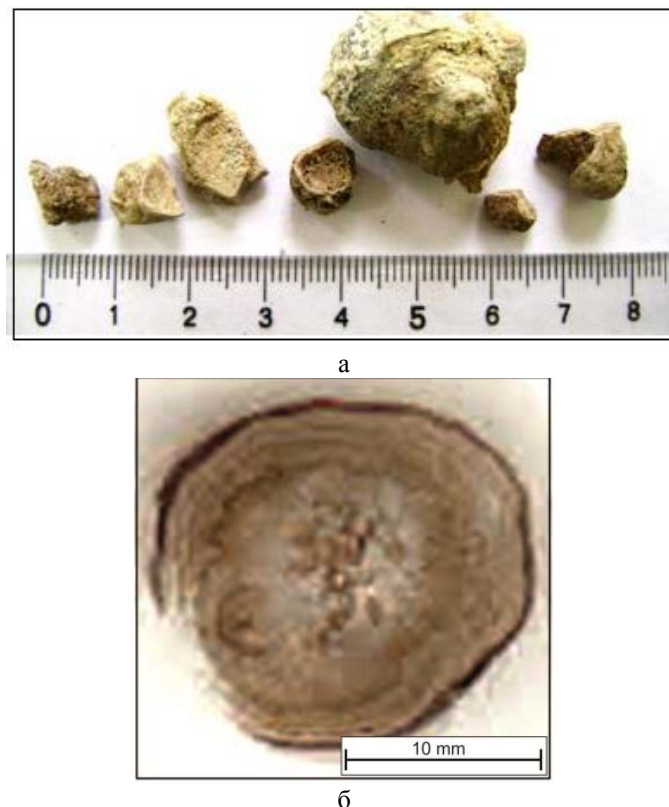


Рис. 3 – Уролиты «Индия-2»: а – множественные уролиты из одной почки; б – шлиф уролита «Индия-2»

Цвет уролитов интенсивный чёрный, поверхность скорлуповатая, в виде почковидных (микросферолитовых) образований, очень плотная.

Вокруг ядра располагаются зоны, представленные чередованием зон минерального вещества и мелких слоёв органики. Минеральная часть уролита состоит из кристаллического вещества, относящегося к классу фосфатов.

Структура уролита очень плотная, компактная, без промежутков между зонами. Химический и минеральный состав уролитов:  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{OH})$  – сложный карбонат фосфата (карбонат-апатит);  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  – витлокит;  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – струвит.

#### Уролиты из Томской области (Россия)

Изучение мочевых камней проведено в Отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов (ИШПР) Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИ ТПУ). В этой работе участвовали также сотрудники кафедры урологии Сибирского государственного медицинского университета (г. Томск).

Исследователями изучена морфология и структура большого количества (около 1000) уролитов. Результаты исследований изложены в ряде статей [17], [18]. Многолетнее изучение мочевых камней в различной стадии их развития (зарождение, рост, изменения, разрушение) позволяют утверждать, что их формирование генетически связано с живым организмом и что уролиты в своем развитии эволюционируют одновременно с организмом.

На первом этапе изучались внешние макроскопические признаки уролитов (цвет, форма, размер). Исследование морфологии и минерального состава уролитов выполнялось с применением микроскопов (бинокулярный МБС-10 и тринокулярный МС300 TFP).

На втором этапе определялся минеральный состав уролитов. Методы поляризационно-оптической микроскопии весьма эффективны при изучении тонких срезов уролитов (шлифов) на поляризационном микроскопе «Полам» Л213М.

В результате изучения морфологии уролитов выделены следующие их типы.

Для уролитов *первого типа характерна друзовидная* морфология поверхности (см. рисунок 4,а), представленная сростками кристаллов (размерами от микроскопических до 2–3 мм).

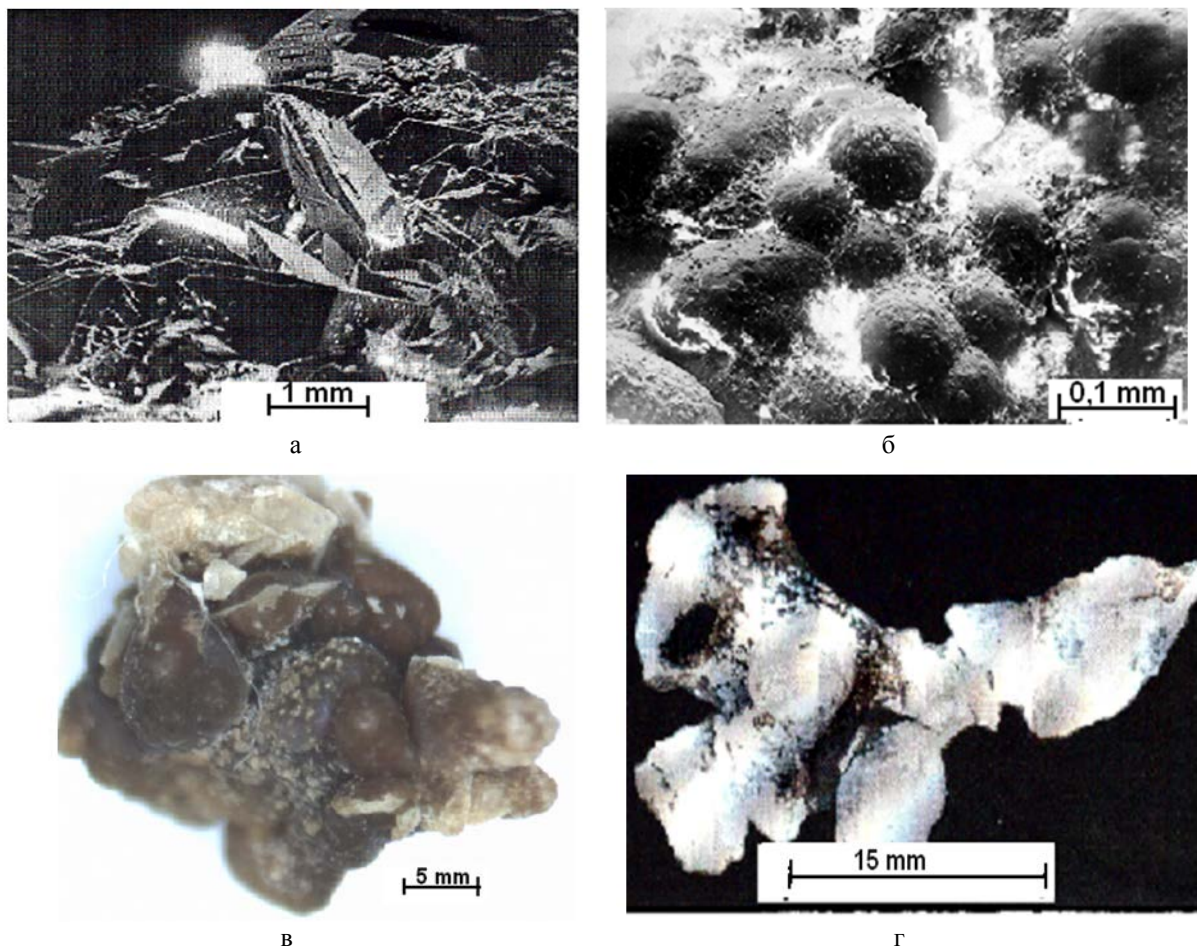


Рис. 4 – Морфология уролитов: *а* – друзовидная; *б* – сферолитовая; *в* – комбинированная; *г* – коралловидная

Ко **второму типу** уролитов отнесены агрегаты со *сферолитовой* (см. рисунок 4,*б*) морфологией поверхности. Они представлены скоплениями агрегатов в виде микросферолитов, плотно прилегающих друг к другу. Отдельные сферолиты достигают в поперечнике от нескольких микрометров до десятых долей миллиметра.

Для **третьего типа** уролитов характерно сочетание признаков морфологии уролитов первых двух типов (см. рисунок 4,*в*). Такой тип морфологии назван *комбинированным*.

**Четвёртый тип** морфологии уролитов представлен разветвлёнными (коралловидными) разнонаправленными отростками (см. рисунок 4,*г*).

Минеральный состав и морфология индивидов, сформировавших каждый отдельный агрегат, весьма разнообразны. В строении большинства уролитов наблюдается *кристаллически-зернистая* структура (см. рисунок 5,*а*); нередко встречаются *дендритовидные* образования (см. рисунок 5,*б*).

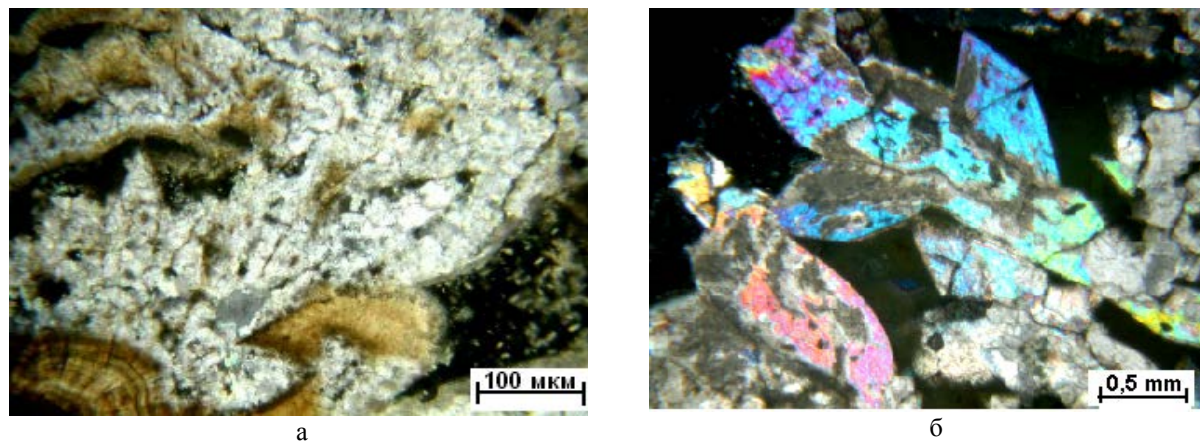


Рис. 5 – Структура уролитов: кристаллически-зернистая (*а*), дендритовидная (*б*)

В строении уролитов встречаются следующие виды зональности: комбинированная (см. рисунок 6,*а*), ритмически-зональная (см. рисунок 6, *б, в, г*).

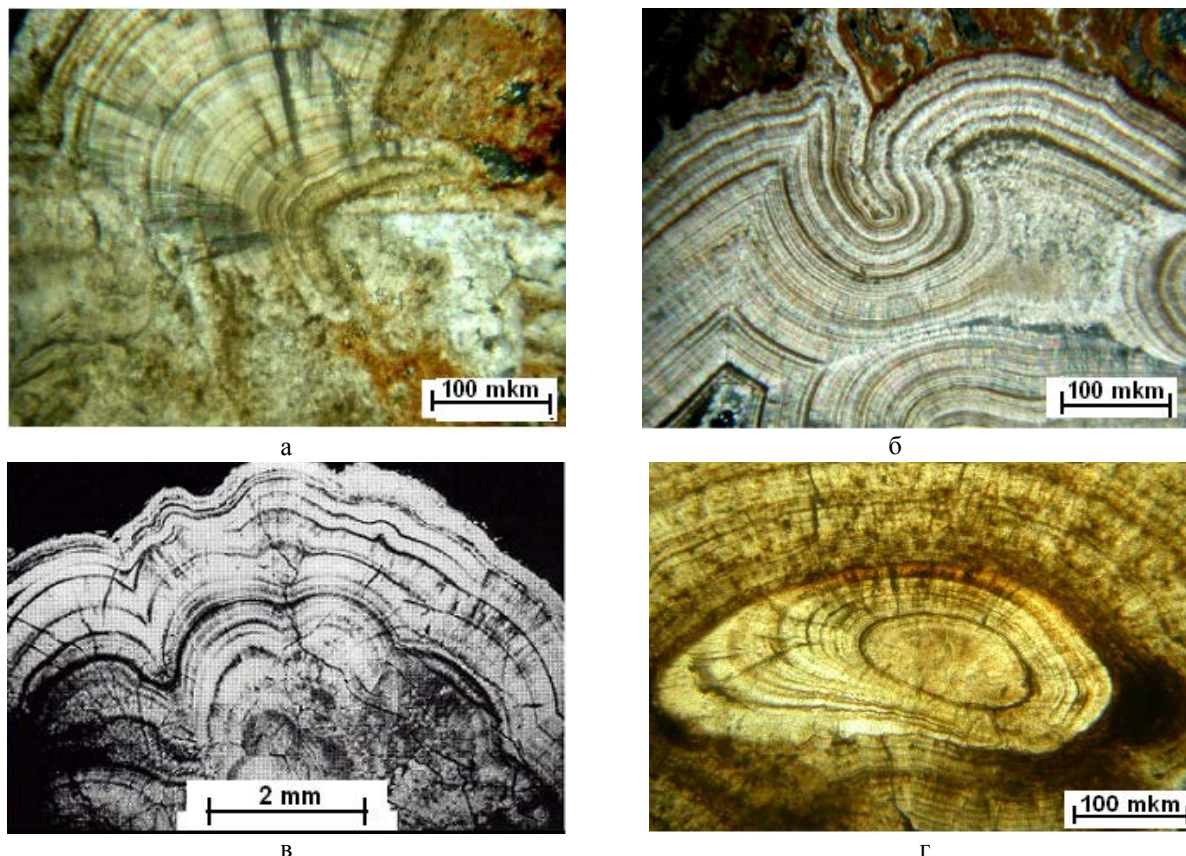


Рис. 6 – Виды зональности уролитов: комбинированная (а), ритмически-зональная (б, в, г)

### Заключение

1. Минеральная часть первого уролита («Индия-1») представлена мочекислыми соединениями: кристаллическая мочева кислота и её дигидрат. В поперечном срезе уролитов наблюдается ритмическая зональность.

2. Минеральная часть второго уролита («Индия-2») состоит из фосфатов: сложный карбонат (карбонат-апатит), витлокит, струвит. Зоны минерального и органического веществ также образуют ритмическую зональность. Структура уролитов плотная, компактная.

3. Уролиты индийских пациентов аналогичны уролитам из Сибирского региона. Отмечено единственное отличие – уролиты группы «Индия-2» имеют более интенсивный тёмный цвет, обусловленный повышенным содержанием органического вещества.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Шадеркина В.А. Мочекаменная болезнь в мире [Электронный ресурс] / Шадеркина В.А., Болотова Е.В. URL: [news/mochekamennaya-bolezni-v-mire](https://news/mochekamennaya-bolezni-v-mire). (дата обращения: 18.12.2019)
2. Полиенко А.К. Особенности морфологии и структуры уролитов / Полиенко А.К. // Урология – 2019. – № 2. – С. 21-25
3. Полиенко А.К. Онтогенез уролитов / Полиенко А.К., Шубин Г.В., Ермолаев В.А. – Томск: РИО «Пресс-Интеграл» ЦПК ЖК – 1997. – 128 с.
4. Волков В.Т. Биоминерализация в организме человека и животных / Волков В.Т., Волкова Н.Н., Смирнов Г.В. и др. – Томск – «Тандем-Арт» – 2004. – 498 с.
5. Полиенко А.К. Основы кристаллографии и минералогии для урологов: монография / Полиенко А.К., Бакиров А.Г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 108 с.
6. Кораго А.А. Введение в биоминералогия / Кораго А.А. – СПб.: Недра, 1992. – 280 с.
7. Зузук Ф.В. Минералогия уролитов: монография, в 3-х т. Т. 1: Распространение мочекаменной болезни среди населения мира (на укр. языке) / Зузук Ф.В. Луцк: «Вежа» Волынского гос. ун-та, 2002. – 408 с.
8. Полиенко А.К. Взаимосвязь органических и неорганических веществ при формировании мочевых камней / Полиенко А.К., Бощенко В.С., Севостьянова О.А. // Бюллетень сибирской медицины – 2012. – Т. 11. – № 2. – С. 52–58.
9. Полиенко А.К. Исследование мочевых камней и влияние водного фактора на их формирование в организме человека / Полиенко А.К., Дутова Е.М. // Продолжение 4-го корейско-российского Международного симпозиума науки и техники. Часть 1. 27 июня-июль, 2000. – С. 278-283.
10. Сребродольский Б.И. Биологическая минералогия. – Киев: Наукова думка – 1983. – 102 с.
11. Юшкин Н.П. Биоминеральные взаимодействия. От биоминералогии к витаминералогии / Юшкин Н.П. // Минералогия и жизнь: биоминеральные взаимодействия – Матер. II междунар. Семинара – Сыктывкар – 1996. – С. 7.

12. Каткова В.И. Эпигенетическая кристаллизация в уrolитах / Каткова В.И., Ракин В.И. // Органическая минералогия: Матер. IV Российского совещания с междунар. участием. Черноголовка: ИПХФ РАН – 2013. – С. 11–13.
13. Мак-Коннелл В. Биоминералогия фосфатов и физиологическая минерализация. Фосфаты в окружающей среде / Мак-Коннелл В. // М.: Мир – 1977. – С. 462–481.
14. Лоуэнштам Х.А. Минералы, формируемые организмами / Лоуэнштам Х.А. // Наука: – 1981. – № 211 (4487). – С. 1126–1131.
15. Лоуэнштам Х.А. О биоминерализации / Лоуэнштам Х.А., Вайнер Ш. – Нью-Йорк – Изд-во Оксфордского ун-та – 1989. – 324 с.
16. Бекерманн С. Эволюция микроструктуры при равноосном дендритном росте / Бекерманн С., Ли К., Тонг Х. // Наука и техника передовых материалов – 2001. – 117–126.
17. Полиенко А.К. Симбиоз живого и косного вещества в уrolитах / Полиенко А.К., Севостьянова О.А., Орлов А.А. // Известия Томского политехнического университета – Томск – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 10–15.
18. Полиенко А.К. Взаимосвязь органических и неорганических веществ при формировании мочевых камней / Полиенко А.К., Бощенко В.С., Севостьянова О.А. // Бюллетень сибирской медицины – 2012. – Т. 11. – № 2. – С. 52–58

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

1. Shaderkina V.A. Mochekamennaya bolezni' v mire [Urolithiasis around the world] [Electronic resource] / Shaderkina V.A., Bolotova E.V. URL: news/mochekamennaya-bolezni-v-mire (accessed:18.12.2019) [in Russian]
2. Polienko A.K. Osobennosti morfologii i struktury urolitov [Features of morphology and structure of uroliths] / Polienko A.K. // Urologiya [Urology] – 2019. – No. 2. – P. 21–25 [in Russian]
3. Polienko A.K. Ontogeniya urolitov [Ontogeny of uroliths] / Polienko A.K., Shubin G.V., Ermolaev V.A. – Tomsk: RIO "Press-Integral" CPK ZhK – 1997. – 128 p. [in Russian]
4. Volkov V.T. Biomineralizatsiya v organizme cheloveka i zhivotnykh [Biomineralization in humans and animals] / Volkov V.T., Volkova N.N., Smirnov G.V. et al. – Tomsk – "Tandem Art" – 2004. – 498 p. [in Russian]
5. Polienko A.K. Osnovy kristallografii i mineralogii dlya urologov: monografiya [Fundamentals of crystallography and mineralogy for urologists: a monograph] / Polienko A.K., Bakirov A.G. – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008. – 108 p. [in Russian]
6. Corago A.A. Vvedeniye v biomineralogiyu [Introduction to biomineralogy] / Corago A.A. – St. Petersburg: Nedra, 1992. – 280 p. [in Russian]
7. Zuzuk F.V. Mineralogiya urolitov: monografiya, v 3-kh t. T. 1: Rasprostraneniye mochekamennoy bolezni sredi naseleniya mira [Mineralogy of Uroliths: monograph, in 3 vol. V.1: The spread of urolithiasis among the world's population] / Zuzuk F.V. Luts'k: "Vezha", Volyn state University, 2002. – 408 p. [in Ukrainian]
8. Polienko A.K. Vzaimosvyaz' organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv pri formirovaniy mochevykh kamney [Relationship of organic and inorganic substances in formation of urinary stones] / Polienko A.K., Boshchenko V.S., Sevostyanova O.A. // Byulleten' sibirskoy meditsiny [Bulletin of Siberian medicine] – 2012. – V. 11. – No. 2. – P. 52–58. [in Russian]
9. Polienko A.K. Issledovaniye mochevykh kamney i vliyaniye vodnogo faktora na ikh formirovaniye v organizme cheloveka [Study of urinary stones and influence of water factor on their formation in human body] / Polienko A.K., Dutova E.M. // Prodolzheniye 4-go koreysko-rossiyskogo Mezhdunarodnogo simpoziuma nauki i tekhniki. [Continuation of the 4<sup>th</sup> Korean-Russian International Symposium of Science and Technology]. – Part I. – June 27–July, 2000. – P. 278–283. [in Russian]
10. Srebrodolsky B.I. Biologicheskaya mineralogiya [Biological mineralogy] / Srebrodolsky B.I. – Kiev: Naukova Dumka – 1983. – 102 p. [in Russian]
11. Yushkin N.P. Biomineral'nyye vzaimodeystviya. Ot biomineralogii k vitamineralogii [Biomineral interactions. From Biomineralogy to Vitaminerology] / Yushkin N.P. // Mineralogiya i zhizn': biomineral'nyye vzaimodeystviya [Mineralogy and Life: Biomineral Interactions] – Materials of II international Seminar – Syktyvkar – 1996. – P. 7. [in Russian]
12. Katkova V.I. Epigeneticheskaya kristallizatsiya v urolitakh [Epigenetic crystallization in uroliths] / Katkova V.I., Rakin V.I. // Organicheskaya mineralogiya: Mater. IV Rossiyskogo soveshchaniya s mezhdunar. uchastiyem. Chernogolovka: IPKHF RAN [Organic Mineralogy: Mater. IV Russian meeting with int. participation. Chernogolovka: IPCP RAS] – 2013. – P. 11–13. [in Russian]
13. McConnell V. Biomineralogiya fosfatov i fiziologicheskaya mineralizatsiya. Fosfaty v okruzhayushchey srede [Biomineralogy of phosphates and physiological mineralization. Phosphates in environment] / McConnell V. // M.: Mir – 1977. – P. 462–481. [in Russian]
14. Lowenstam H.A. Mineraly, formiruyemye organizmami [Minerals formed by organisms] / Lowenstam H.A. // Nauka [Science]: – 1981. – No. 211 (4487). – P. 1126–1131. [in Russian]
15. Lowenstam H.A. [About biomineralization] / Lowenstam H.A., Weiner S. - New York - Oxford University Press – 1989. – 324 p. [in Russian]
16. Beckermann S. Evolyutsiya mikrostruktury pri ravnoosnom dendritnom roste [Evolution of microstructure with equiaxed dendritic growth] / Beckermann S., Lee K., Tong H. // Nauka i tekhnika peredovykh materialov [Science and Technology of Advanced Materials] – 2001. – P. 117–126. [in Russian]
17. Polienko A.K. Simbioz zhivogo i kosnogo veshchestva v urolitakh [Symbiosis of living and inert matter in uroliths] / Polienko A.K., Sevostyanova O.A., Orlov A.A. // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University] – Tomsk – 2010. – V. 317. – No. 1. – P. 10–15. [in Russian]
18. Polienko A.K. Vzaimosvyaz' organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv pri formirovaniy mochevykh kamney [Relationship of organic and inorganic substances in formation of urinary stones] / Polienko A.K., Boshchenko V.S., Sevostyanova O.A. // Byulleten' sibirskoy meditsiny [Bulletin of Siberian medicine] – 2012. – V. 11. – No. 2. – P. 52–58 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.025>**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АКТИВНОГО СТРАТОВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ НА КАМЧАТКЕ**

Научная статья

**Скуфьин П.К. \***

Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

\* Корреспондирующий автор (skuf[at]geoksc.apatity.ru)

**Аннотация**

В статье освещены результаты исследования вулканических процессов на крупном действующем стратовулкане Безымянный, расположенном на Восточном горном хребте Камчатки, в Ключевской группе вулканов голоценового возраста. Это – один из наиболее активных вулканов мира, для которого характерны непрерывные кратковременные взрывные извержения с мощными выбросами пеплового материала, сопровождаемые лавовыми потоками и формированием экструзий. Среди советских и иностранных вулканологов этот вулкан получил мировую известность 30 марта 1956 г, когда произошло катастрофическое извержение, которое в геологической литературе получило название «направленный взрыв» или «извержение типа Безымянный». Кроме вулканических структур, были исследованы также своеобразные вулканогенно-осадочные отложения вулкана, представленные так называемыми тефроидами, представляющими собой продукт перемещения и перемыва вулканокластического материала извержений.

**Ключевые слова.** Камчатка, стратовулкан Безымянный, тефроиды, экструзия, извержение.

**FEATURES OF ACTIVE BEZMYANNYY STRATOVOLCANO FORMATION ON KAMCHATKA**

Research article

**Skufyin P.K. \***

Geological Institute, Kola Research Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

\* Corresponding author (skuf[at]geoksc.apatity.ru)

**Abstract**

The paper highlights the results of a study of volcanic processes on a large active Bezmyannyy stratovolcano, located on the Eastern mountain range of Kamchatka, in the Klyuchevskaya group of volcanoes of the Holocene age. This is one of the most active volcanoes in the world, characterized by continuous short-term explosive eruptions with powerful emissions of ash material, accompanied by lava flows and the formation of extrusions. This volcano became world-famous on March 30, 1956, among Soviet and foreign volcanologists, when there was a catastrophic eruption, which in the geological literature was called "directed explosion" or "Bezmyannyy type eruption." In addition to volcanic structures, peculiar volcanic-sedimentary deposits of the volcano were also studied, represented by the so-called tephroids, which are the product of the movement and re-eruption of volcanic-clastic material of eruptions.

**Keywords:** Kamchatka, Stratovolcano Bezmyannyy, tephroids, extrusion, eruption.

**Введение**

Вулкан Безымянный является крупным действующим стратовулканом на Восточном горном хребте Камчатки, в Ключевской группе вулканов голоценового возраста, в 350 км к северо-востоку от Петропавловска-Камчатского и в 40 км от поселка Усть-Камчатск. Это – один из наиболее активных вулканов мира, для которого характерны непрерывные кратковременные взрывные извержения с мощными выбросами пеплового материала, сопровождаемые лавовыми потоками и формированием экструзий. Последнее сильное извержение произошло 15 марта 2019 г, когда исполин выбросил столб пепла высотой более 15 км, что не сопровождалось катастрофическим выпадением пеплового материала. Высота вулкана 2882 м (до 1956 г. – 3075 м); в состав вулканической постройки входят молодой активный стратовулкан и остатки уничтоженного извержением 1956 г старого вулкана, на месте которого образовался кратер размером 1,3х2,8 км. У подножия вулкана – 16 крупных экструзивных построек (куполов, крупных обелисков и др.). Среди советских и иностранных вулканологов этот вулкан получил мировую известность 30 марта 1956 г, когда произошло катастрофическое извержение, которое в геологической литературе получило название «направленный взрыв» или «извержение типа Безымянный» [10].

Извержение 1955-1956 гг. было первым в этом районе с 1697 г и произошло, по данным тефрохронологических исследований, после 1000-летнего периода покоя [2], [3]. До извержения вулкан имел форму правильного конуса высотой 3085 м (стратовулкан андезитового состава, осложнённый многочисленными побочными экструзивными куполами). Извержение началось 22 октября 1955 г после 23-дневного роя землетрясений. До 30 марта 1956 г извержение носило умеренный, вулканический характер (*докульминационная стадия*). На вершине вулкана образовался кратер диаметром 800 м, из которого происходили частые выбросы пепла на высоту до 7 км. В ноябре в кратере началось выжимание мощного экструзивного купола вязкой лавы. Это вызвало сильное вздутие (более 100 м) восточного склона вулкана. Склон в конце концов обрушился, и 30 марта 1956 г. началось событие мирового масштаба – катастрофическое извержение (*кульминационная стадия*). Сразу за обрушением последовал колоссальный направленный взрыв, вызванный огромным давлением извергавшейся экструзивной лавы. Материал, выброшенный взрывом, вызвал «пирокластическую волну» (турбулентный поток горячей смеси газа и пирокластики). Её скорость достигала 60 м/с, температура превышала 300 °С. В результате по склону сошли пирокластические потоки длиной до 30 км. Вследствие взрыва у вулкана возник подковообразный кратер диаметром ~1,3 км (Рис. 1). На восточном склоне возник покров специфических пирокластических отложений (отложения направленного взрыва). После пароксизма в

кратере продолжает выжиматься экструзивный купол вязкой лавы (Купол Новый), формирование которого продолжается до настоящего времени (*посткульминационная стадия*).



Рис. 1 – Образование Купола Новый в кратере вулкана Безымянный (Фото с вертолёта)

### Результаты исследований

Таким образом, в настоящее время вулкан пребывает в активной фазе деятельности. Становление купола сопровождается эксплозивными извержениями разной силы (1-2 раза в год), с выбросом облаков вулканического пепла и формированием раскаленных лавин на склонах, с образованием небольших мелкоглыбовых лавокластических потоков длиной до 12 км. Во время извержений часто происходят выбросы глыбового материала и крупных блоков экструзивной лавы размером в несколько м<sup>3</sup> на расстояние до 0,5 км от экструзивного купола (Рис. 3).

Непрерывные (с 1956 года) экструзивные извержения андезитовых лав в кратере, формирующие Купол Новый, происходили в виде протрузий жестких блоков. В дальнейшем рост купола стал прерывистым, и наряду с жесткими блоками с 1977 года начали выжиматься вязкие экструзии. В настоящее время материал этих экструзий почти заполнил кратер 1956 года. (Рис. 2).

При экструзивном типе извержения лава среднекислого состава находится в вязком или уже затвердевшем состоянии и проникает в верхние части вулканических аппаратов, заполняя в пределах вулканической постройки кратеры и трещины различного масштаба, формируя экструзивные купола, а также кольцевые и конические дайки [8]. Лава при этом обладает массивной, а иногда и четко выраженной флюидальной и полосчатой текстурой, ориентированной в направлении движения экструзивных масс.

Характерна хрупкость и непрочность изверженного материала: на вид монолитные глыбы раскристаллизованных экструзивных андезитов буквально рассыпаются в руках в дресву, по размерности аналогичную зернам слагающих андезиты минералов. Быстрое разрушение экструзивных лав (Рис. 4, 5) объясняется не только разуплотнением путем «снятия скрытых глубинных напряжений» [7], но и повсеместной аргиллизацией вулканического материала; при этом аргиллизации подвергается в первую очередь метастабильное вулканическое стекло, количество которого в экструзивных андезитах достигает 30-40%. В андезитах вулкана Безымянный вулканическое стекло замещается глинистыми минералами и опалом, формируя хрупкий каркас минеральных зерен в аргиллитовом матриксе.

Купол Новый и сам вулкан Безымянный стоят как бы погруженные в этот сыпучий песчано-глыбовый материал, который подхватывается временными водотоками, перемывается в глубоких, многометровой глубины оврагах и массами увлекается речной системой Сухой Хапицы. На склонах вулкана наблюдается постоянное перемещение мелкообломочного лавокластического материала к подножию вулканической постройки. Этот разнообразный материал сортируется по размеру, окатывается и образует хорошо выдержанные отложения перемытых лавокластических пород.



Рис. 2 – Восточный склон вулкана Безымянный. Над Куполом Новый видны восходящие облака газа. Подножие купола покрыто новейшими отложениями вулканокластического материала – продукта быстрого разрушения внедрявшихся экструзий

Наблюдения в районах новейшего вулканизма свидетельствуют о чрезвычайной быстротечности процессов образования вулканических экструзивных структур, дискретном характере их проявления и быстром разрушении при выветривании. В частности, в Охотско-Чукотском вулканическом поясе известны случаи [4], когда в мощных сериях вулканокластических накоплений выделялось несколько крупных стратиграфических подразделений, имевших совершенно идентичные органические остатки.



Рис. 3 – Крупные глыбы экструзивной лавы и мелкоглыбового лавокластического материала, выброшенные при экструзивных извержениях на Куполе Новый



Рис. 4 – Блок экструзивной лавы, выброшенный на расстояние около 0,5 км при формировании Купола Новый. Видны результаты интенсивного объемного разуплотнения экструзивного материала

По данным Р.Л. Смита и Р.А. Бейли [7], большие объемы ( $200-2000 \text{ км}^3$ ) лавокластических и экструзивных масс кальдерных накоплений кислого состава могут сформироваться геологически мгновенно – менее чем за 10 лет. Общий объем кислых вулканитов, отлагавшихся в пределах Пегтымельской вулcano-тектонической кальдерной структуры, оценивается в  $40000 \text{ км}^3$ , из них не менее 70% составляют мощные тела кислых экструзивных пород, образование которых могло произойти в интервале 150-1500 лет.

В связи с этим следует затронуть проблему формирования так называемых тефроидных пород (тефроидов) – своеобразных вулканогенно-осадочных образований, возникающих при перемещении и перемыве вулканокластического материала. В тефроидах вулканокластический материал частично представлен окатанными и полуокатанными обломками вулканического стекла, в то время как в туффовых песчаниках вулканическое стекло подвергается разложению [8].



Рис. 5 – Формирование псаммитовых и псефитовых тефроидных отложений при разуплотнении и разрушении лавокластического материала экструзий Купола Новый

Фрагменты пирокластики попадают в состав тефроидов при синвулканических выбросах вулканического пепла и при разрушения лавовых экструзивных построек. Характерно, что степень окатанности тефроидов примерно одинаковая как по мощности тефроидных горизонтов, так и по площади их развития. Первоначально к тефроидам относились породы, образованные только за счет окатанной и отсортированной тефры. Впоследствии к тефроидам стали относить любой окатанный и отсортированный вулканокластический материал: глыбовые валуны лавокластических потоков, обломочный материал экструзивных куполов и отдельных экструзивных обелисков, тефру пирокластических потоков и другие продукты извержений. Современные исследования на Камчатке и Курильских островах показали синхронность формирования тефроидов и процесса вулканизма, а также широкое распространение этих пород и их преобладание над вулканогенно-терригенными породами. По возрасту формирование тефроидных отложений происходило от раннего докембрия до наших дней.

Типичным примером отложений лавокластических тефроидных пород является их формирование при перемещении и перемыве крупных выбросов пирокластики на японском вулкане Такетоми [7]. В течении месяца вулкан извергнул около 100 миллионов тонн пирокластики, частично отложившейся на берегах Охотского моря. Перемытые морским прибоем эти отложения через 40 лет сформировали прибрежный горизонт тефроидных псаммитов мощностью более 5м.

У подножия вулкана Безымянный постоянно происходило многостадийное формирование многочисленных экструзивных куполов разного размера. При этом становление достаточно крупных куполов характеризовалось продолжительной активной вулканической деятельностью, вплоть до окончательного оформления морфологического облика этих вулканических структур.

Характерен пример крупного молодого экструзивного купола Лохматый. Хаотическое строение поверхности купола, наличие многочисленных экструзивных блоков и обелисков разного размера производит впечатление новейшего возраста этого купола (Рис. 6).



Рис. 6 – Молодой экструзивный купол Лохматый на восточном склоне вулкана Безымянный



Рис. 7 – Древний экструзивный купол Плотина у подножия восточного склона вулкана Безымянный

В то же время у подножия вулкана Безымянный можно наблюдать примеры более древних экструзивных структур. Наиболее крупным древним экструзивным куполом является купол Плотина (рис. 7).



Рис. 8 – Экструзивный купол правильной сферической формы, фрагмент крупного купола Плотина

Бесконечно изобретательная природа даёт нам возможность наблюдать целую коллекцию причудливых вулканических структур. На древнем вулканическом куполе Плотина в процессе его становления сформировался небольшой экструзивный купол меньшего размера идеальной сферической формы (Фото 8).

#### Выводы

1. Крупный действующий стратовулкан Безымянный на Камчатке относится к Ключевской группе вулканов голоценового возраста и является одним из наиболее активных вулканов мира. Для него характерны непрерывные взрывные извержения с выбросами пеплового материала среднекислого состава, сопровождаемые лавовыми потоками и формированием экструзий.

2. Среди советских и иностранных вулканологов этот вулкан получил мировую известность 30 марта 1956 г, когда произошло катастрофическое извержение, которое в геологической литературе получило название «направленный взрыв» или «извержение типа Безымянный».

3. Вследствие извержения произошло обрушение вулкана и возник подковообразный кратер, в котором сформировался крупный экструзивный купол вязкой андезитовой лавы (Купол Новый), становление которого продолжается до настоящего времени.

4. У подножия вулкана Безымянный постоянно происходило многостадийное формирование многочисленных экструзивных куполов разного размера. При этом становление достаточно крупных куполов характеризовалось продолжительной активной вулканической деятельностью, вплоть до окончательного оформления морфологического облика этих вулканических структур.

5. Предлагается модель формирования тефроидных отложений (тефроидов) – псаммитовых и псефитовых продуктов быстрого разрушения и перемыва изверженного лавокластического материала вулкана Безымянный. Характерна синхронность формирования тефроидов и процесса вулканизма, а также широкое распространение этих пород и их преобладание над вулканогенно-терригенными отложениями.

6. Быстрое разрушение андезитовой лавокластики объясняется не только разуплотнением при поверхностном снятии глубинных напряжений, но и повсеместной аргиллизацией вулканического материала; при этом аргиллизации подвергается в первую очередь метастабильное вулканическое стекло, количество которого в экструзивных андезитах достигает 30-40%.

7. В андезитах вулкана Безымянный вулканическое стекло замещается глинистыми минералами и опалом, поэтому хрупкий каркас минеральных зерен в аргиллитовом матриксе рассыпается при малейшем механическом воздействии.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Алидибиров М. А. Извержение вулкана Безымянный в 1985 г. / Алидибиров М. А., Богоявленская Г. Е., Кирсанов И. Т. и др. // Вулканология и сейсмология. 1988. С. 3-17.
2. Белоусов А. Б. Отложения и последовательность событий извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. (Камчатка): отложения направленного взрыва / Белоусов А. Б., Белоусова М. Г. // Вулканология и сейсмология. 2000. № 2. С. 3-17.
3. Безымянный (вулкан на Камчатке) [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/30\\_%D0%BC%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%](https://ru.wikipedia.org/wiki/30_%D0%BC%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%) (дата обращения: 03.02.2020)
4. Белый В.Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканического пояса / Белый В.Ф. М.: Наука, 1977, 171 с.
5. Богоявленская Г. Е. 25 лет вулканической активности вулкана Безымянного / Богоявленская Г. Е., Кирсанов И. Т. // Вулканология и сейсмология. 1981. С. 3-13.
6. Дубик Ю. М. Новый этап эруптивной деятельности вулкана Безымянного / Дубик Ю. М., Меняйлов И. А. // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 38-77.
7. Луцицкий В.И. Основы палеовулканологии / Луцицкий В.И. Т. 1,2, М.: Наука, 1971, 841 с.
8. Малеев Е.Ф. Вулканыты (Справочник) / Малеев Е.Ф. М. Недра. 1980. 270 с.
9. Флоренский П. В. Уникальные кадры. / Флоренский П. В. // Природа. 2007. № 1. С. 38-39.
10. Belousov A. Directed blasts and blast-currents: a comparison of the Bezmyanny 1956, Mount St Helens 1980, and Soufriere Hills, Montserrat 1997 eruptions and deposits / Belousov A., Voight B., Belousova M. // Bulletin of Volcanology. 2007. № 69. P. 801-840.

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

1. Alidibirov M. A. Izverzhenie vulkana Bezymyannyj v 1985 g [Eruption of the Bezymyanny volcano in 1985] / Alidibirov M. A., Bogoyavlenskaya G. E., Kirsanov I. T. et al. // Volcanology and seismology. 1988.P. 3-17. [in Russian]
2. Belousov A. B. Otlozheniya i posledovatel'nost' sobytij izverzheniya vulkana Bezymyannyj 30 marta 1956 g. (Kamchatka): otlozheniya napravlennoogo vzryva [Deposits and a sequence of events Bezymyannyi eruption on March 30, 1956 (Kamchatka): deposits of a directed explosion] / Belousov A. B., Belousova M. G. // Volcanology and seismology. 2000. No. 2. P. 3-17. [in Russian]
3. Bezymyannyj (vulkan na Kamchatke) [Bezymyannyi (volcano in Kamchatka)] // [Electronic resource] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/30\\_%D0%BC%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%](https://ru.wikipedia.org/wiki/30_%D0%BC%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%) (accessed.: 03.02.2020) [in Russian]
4. Bely V.F. Stratigrafiya i struktury Ohotsko-CHukotskogo vulkanicheskogo poyasa [Stratigraphy and structures of the Okhotsk-Chukchi volcanic belt] / Bely V.F. M.: Nauka, 1977, 171 p. [in Russian]
5. 25 let vulkanicheskoy aktivnosti vulkana Bezymyannogo [Bogoyavlenskaya G. E. 25 years of volcanic activity of Bezymyanny volcano] / Bogoyavlenskaya G. E., Kirsanov I. T. // Volcanology and seismology. 1981.p. 3-13. [in Russian]
6. Dubik Yu. M. Novyj etap eruptivnoj deyatel'nosti vulkana Bezymyannogo [A new stage in the eruptive activity of Bezymyanny volcano] / Dubik Yu. M., Menyailov I. A. // Volcanoes and eruptions. M.: Nauka, 1969.P. 38-77. [in Russian]
7. Luchitsky V.I. Osnovy paleovulkanologii [Fundamentals of paleovolcanology] / Luchitsky V.I. V 1.2, M.: Nauka, 1971, 841 p. [in Russian]
8. Maleev E.F. Vulkanity (Spravochnik) [Volcanoes (Reference)] / Maleev E.F. M. Nedra. 1980.270 p. [in Russian]
9. Florensky P.V. Unikal'nye kadry [Unique frames] / Florensky P.V. // Nature. 2007. No. 1. P. 38-39. [in Russian]
10. Belousov A. Directed blasts and blast-currents: a comparison of the Bezmyanny 1956, Mount St Helens 1980, and Soufriere Hills, Montserrat 1997 eruptions and deposits / Belousov A., Voight B., Belousova M. // Bulletin of Volcanology. 2007. № 69. P. 801-840.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.026>**АКТУАЛЬНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ БАРБИТУРОВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ХИМИКО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ НА ПРИМЕРЕ ЦИКЛОБАРБИТАЛА**

Научная статья

**Петрова О.С.<sup>1,\*</sup>, Матвеева Л.В.<sup>2</sup>, Сухова Н.А.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4458-7953,<sup>1</sup> Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия;<sup>2,3</sup> Новгородское бюро судебно-медицинской экспертизы, Великий Новгород, Россия

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

**Аннотация**

Сохраняется актуальность химико-токсикологического анализа на производные барбитуровой кислоты, так как отравления ими встречаются нередко, и в смеси с другими токсикологически важными препаратами [4], [5], [6]. Основу экспертной оценки отравления производными барбитуровой кислоты составляет качественное определение препарата в организме человека с учетом обстоятельств дела и клинической картины отравления, однако имеется возможность количественной оценки обнаруженных препаратов и их метаболитов. С целью улучшения диагностики отравления производными барбитуровой кислоты составлена и оптимизирована четкая схема химико-токсикологического анализа при судебно-химических экспертных исследованиях биообъектов.

**Ключевые слова:** производные барбитуровой кислоты, химико-токсикологический анализ.**RELEVANCE OF DETERMINATION OF BARBITURIC ACID DERIVATIVES BY CHEMICAL AND TOXICOLOGICAL ANALYSIS ON EXAMPLE OF CYCLOBARBITAL**

Research article

**Petrova O.S.<sup>1,\*</sup>, Matveeva L.V.<sup>2</sup>, Sukhova N.A.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4458-7953,<sup>1</sup> Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Velikiy Novgorod, Russia;<sup>2,3</sup> Novgorod Forensic Bureau, Velikiy Novgorod, Russia

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

**Abstract**

The relevance of the chemical and toxicological analysis for derivatives of barbituric acid are due to common poisoning with these substances and in a mixture with other toxicologically important drugs [4], [5], [6]. The basis of the expert assessment of poisoning with derivatives of barbituric acid is a qualitative determination of the drug in the human body, considering the circumstances of the case and the clinical picture of poisoning; however, it is possible to quantify the detected drugs and their metabolites. A transparent scheme of chemical-toxicological analysis was compiled and optimized in forensic chemical expert studies of biological objects to improve the diagnosis of poisoning with derivatives of barbituric acid.

**Keywords:** derivatives of barbituric acid, chemical, and toxicological analysis.**Введение**

С каждым годом расширяется ассортимент веществ, используемых молодыми людьми с целью воздействия на центральную нервную систему. Среди наркотических веществ, употребляемых наркоманами, наиболее часто используются синтетические аналоги опиатов и курительные смеси на основе синтетических каннабиноидов, часто в комбинации с этанолом. Первый способ лечения наркомании, который приходит в голову самому наркоману – облегчение абстиненции с помощью различных лекарственных средств [3]. Самым подходящими с их точки зрения являются снотворные средства, которые они готовы употреблять в количествах, превышающих высшую суточную дозу. Примером комбинированного снотворного препарата является реладорм – таблетки, содержащие циклобарбитал и диазепам – способен сформировать настоящую зависимость [4]. Кроме того, он при массивном использовании, а именно так его применяют наркоманы, вызывает поражение головного мозга – энцефалопатию.

В настоящее время остается актуальным определение производных барбитуровой кислоты в смеси с наркотическими веществами при химико-токсикологическом анализе. Указанное обстоятельство требует подобрать оптимальную схему исследования, позволяющую, не ухудшая качество, значительно снизить сроки проведения химико-токсикологического анализа.

В практике ГОБУЗ «Новгородское Бюро судебно-медицинской экспертизы» встретился случай злоупотребления таблетками «Реладорм», содержащими диазепам и циклобарбитал. Из реанимационного отделения больницы был доставлен больной, со слов родственников стало известно, что он принял таблетки анальгина и димедрола, после чего отметил ухудшение самочувствия и был госпитализирован. Для проведения химико-токсикологического анализа были направлены кровь, моча и промывные воды желудка, а также таблетки (14 штук), обнаруженные в кармане больного, которые исследовались в первую очередь, так как предварительная реакция мочи и промывных вод на производные пиразолона (с раствором хлорида окисного железа) была отрицательной.

В ходе эксперимента было решено разработать схему химико-токсикологического анализа: изолирование, очистку, скрининг, качественный и количественный анализ для исследуемых биожидкостей и неизвестных таблеток.

Для анализа было предоставлено: 100 мл мочи, 10 мл крови, 100 мл промывных вод из желудка, неизвестные таблетки 14 штук (таблетки белого цвета, плоской округлой формы, диаметром 7 мм, весом 110 мг, толщиной 1,5 мм).

Для иммунохроматографического определения использовали тест-полоски на фенциклидин серия №100804, трициклические антидепрессанты серия №240801, морфин серия №50810, бензодиазепины серия №60810, амфетамин серия №30810, метамфетамин серия №80804, марихуану серия №20810, метадон серия №70810, кокаин серия №40810, барбитураты №90810.

В чистую емкость вносили анализируемый образец мочи (1,5 мл). Погружали тест-полоски строго вертикально концом со стрелками в мочу на 30 секунд. Извлекали и через 5 минут наблюдали одну розовую полосу на тест-полосках для барбитуратов и бензодиазепинов. На других тест-полосках наблюдали по две розовые полосы. Делали вывод, что в анализируемом образце предположительно присутствуют производные барбитуровой кислоты, 1,4-бензодиазепина.

Далее проводили пробоподготовку: 10 мл крови помещали в колбу, прибавляли 20 мл 96% этилового спирта, подкисленного насыщенным раствором щавелевой кислоты, до pH=2 и нагревали на кипящей водяной бане с обратным холодильником 50 минут. После охлаждения содержимое колбы фильтровали в фарфоровую чашку и выпаривали досуха на водяной бане. Сухой остаток обрабатывали 20 мл теплой воды и проводили экстракцию органическими растворителями: при pH=2 и pH=9 – хлороформом, при pH=13 – эфиром. При аналогичных значениях pH проводили прямую экстракцию для мочи и промывных вод. Щелочные извлечения для каждого объекта объединяли соответственно. Растворители испаряли при комнатной температуре. Сухие кислые остатки растворяли в 3 мл хлороформа каждый. Параллельно исследовали неизвестные таблетки, предварительно растворив их в 5 мл хлороформа и профильтровав.

Полученные хлороформные вытяжки экстрагировали 0,1 н раствором едкого натра и центрифугировали – водные фазы отбирали пипеткой, промывали хлороформный слой водой очищенной дважды по 5 мл. Промывные воды также отбирали пипеткой, присоединяя их к основной водной фазе, подкисляли щавелевой кислотой до pH=2 и дважды по 5 мин экстрагировали хлороформом порциями по 20 мл. Хлороформные вытяжки объединяли и доводили до объема 50 мл ( $V_1$ ).

0,3 мл хлороформных извлечений и раствора неизвестной таблетки наносили с помощью капилляра в виде точки на стартовую линию трех хроматографических пластинок Sorbfil. На линию старта наносили в качестве свидетелей в одну точку последовательно по 0,2 мл (1 мг в 1 мл этанола) барбитал, фенобарбитал, этаминал-натрий, барбамил, и 0,2 мл (1 мг в 1 мл хлороформа) бензонал, циклобарбитал, диазепам. Полученные пятна диаметром не более 0,5 см подсушивали.

Хроматографирование проводили в следующих системах растворителей: хлороформ – н-бутанол – 25 % раствор аммиака (70:40:5), хлороформ – ацетон (9:1), изопропанол – хлороформ – 25% раствор аммиака (90:90:20). Камеры предварительно насыщали системой растворителей в течение 60 мин. Длина пробега фронта растворителя – 10 см. Время хроматографирования – 45 мин. После подсушивания при комнатной температуре до полного удаления растворителей пластинки равномерно опрыскивали 0,02% раствором дифенилкарбазона в хлороформе, а затем 2,5% раствором сульфата ртути [2].

На первой пластине в зоне нанесения свидетелей наблюдали пятна сиреневато-фиолетового цвета с  $R_f$ : барбитал – 0,22, фенобарбитал – 0,21, бензонал – 0,39, барбамил – 0,29, этаминал-натрия – 0,35, циклобарбитал – 0,31. В зоне нанесения исследуемых извлечений и неизвестной таблетки наблюдали пятна сиреневато-фиолетового цвета с  $R_f$  – 0,31.

На второй пластине в зоне нанесения свидетелей наблюдали пятна сиреневато-фиолетового цвета с  $R_f$ : барбитал – 0,70, фенобарбитал – 0,49, бензонал (2 пятна) – 0,49 и 0,61, барбамил – 0,85, этаминал-натрия – 0,94, циклобарбитал – 0,56. В зоне нанесения исследуемых извлечений и неизвестной таблетки наблюдали пятна сиреневато-фиолетового цвета с  $R_f$  – 0,56.

На третьей пластине в зоне нанесения свидетелей наблюдали пятна сиреневато-фиолетового цвета с  $R_f$ : барбитал – 0,65, фенобарбитал – 0,44, бензонал – 0,54, барбамил – 0,80, этаминал-натрия – 0,89, циклобарбитал – 0,59. В зоне нанесения исследуемых извлечений и неизвестной таблетки наблюдали пятна сиреневато-фиолетового цвета с  $R_f$  – 0,59.

Затем эти пластины обесцвечивали в токе теплого воздуха и проявляли реактивом Драгендорфа. В зоне нанесения свидетелей наблюдали пятна оранжевого цвета с  $R_f$ : на первой пластине – 0,45; на второй пластине – 0,65; на третьей – 0,70 для диазепама. В зоне нанесения исследуемых извлечений и неизвестной таблетки наблюдали пятна оранжевого цвета с  $R_f$ : на первой пластине – 0,45; на второй пластине – 0,65; на третьей – 0,70.

По результатам экспериментальной части можно сделать вывод, что системы хлороформ-н-бутанол-25 % раствор аммиака (70:40:5), хлороформ-ацетон (9:1), используемые в тонкослойной хроматографии, являются оптимальными для определения производных барбитуровой кислоты, так как пятна для веществ-свидетелей проявляются более четко и разгоняются на разные уровни.

Для исследуемых биожидкостей проводили качественное и количественное определение неизвестного токсиканта методом – спектрофотометрия в УФ-области: по 1 мл ( $V_2$ ) исследуемых кислых хлороформных извлечений помещали в фарфоровые чашки, растворитель испаряли, а сухие остатки растворяли в 4 мл ( $V_3$ ) боратного буфера (pH=9). Снимали спектры поглощения в области длин волн 220-300 нм на спектрофотометре СФ-46 с толщиной слоя кюветы 10 мм, раствор сравнения – боратный буфер (pH=9) [1], [7]. Затем в кюветы добавляли по 2 капли насыщенного раствора едкого натра (pH=13) и после тщательного перемешивания вновь снимали спектр поглощения в том же интервале длин волн. Далее в кюветы вносили по одной капле концентрированной соляной кислоты для достижения значения pH=2, и вновь снимали спектр в области длин волн 220-300 нм (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Результаты спектрофотометрического определения биообъектов

Длина волны	Кровь			Моча			Промывные воды		
	pH=9	pH=13	pH=2	pH=9	pH=13	pH=2	pH=9	pH=13	pH=2
220	1,730	1,610	2,030	0,870	0,780	0,990	1,650	1,350	1,800
224	1,600	1,530	1,740	0,740	0,710	0,860	1,500	1,280	1,540
228	1,630	1,410	1,450	0,860	0,640	0,760	1,360	1,235	1,310
232	1,720	1,320	1,240	1,040	0,560	0,680	1,200	1,180	1,085
236	1,800	1,240	1,100	1,165	0,480	0,600	1,450	1,140	0,900
240	1,840	1,180	0,990	1,225	0,410	0,520	1,710	1,080	0,750
244	1,710	1,170	0,900	1,155	0,370	0,450	1,310	1,015	0,650
248	1,450	1,240	0,820	1,015	0,395	0,370	0,970	1,035	0,580
252	1,110	1,300	0,760	0,900	0,470	0,295	0,760	1,090	0,540
256	0,800	1,360	0,730	0,805	0,535	0,200	0,590	1,170	0,520
260	0,590	1,310	0,710	0,720	0,470	0,175	0,480	1,130	0,520
264	0,480	1,250	0,680	0,645	0,415	0,150	0,420	1,055	0,520
268	0,400	1,170	0,650	0,580	0,355	0,120	0,390	0,980	0,500
272	0,350	1,080	0,620	0,515	0,300	0,100	0,360	0,920	0,490
276	0,325	1,015	0,590	0,450	0,245	0,085	0,330	0,850	0,460
280	0,300	0,950	0,570	0,390	0,200	0,065	0,300	0,800	0,440
300	0,215	0,900	0,460	0,250	0,100	0,045	0,155	0,750	0,270

Одновременно снимали спектр поглощения циклобарбитала при тех же условиях (см. рисунок 1).

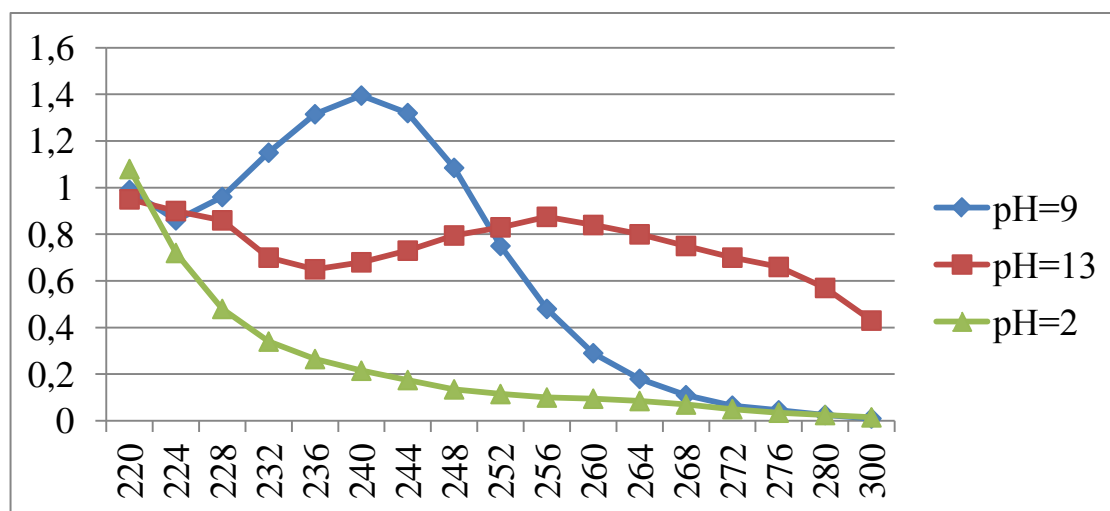


Рис. 1 – УФ-спектр поглощения циклобарбитала при разных значениях pH

Наблюдались максимумы поглощения для циклобарбитала и исследуемых извлечений: при pH=9 – 240 нм, pH=13 – 256 нм. При pH=2 каких-либо максимумов не наблюдали.

Для количественного определения измеряли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-46 с толщиной слоя кюветы 10 мм при длине волны 260 нм, раствор сравнения – боратный буфер. Были получены результаты:

pH=9 –  $D_{\text{кровь}}=0,263$ ,  $D_{\text{моча}}=0,530$ ,  $D_{\text{промывные воды}}=0,230$ ;

pH=13 –  $D_{\text{кровь}}=0,265$ ,  $D_{\text{моча}}=0,540$ ,  $D_{\text{промывные воды}}=0,255$ .

Для расчета пользовались значениями удельного показателя поглощения ( $E_{1\text{см}}^{1\%}$ ), который вычисляли по формуле (см. таблицу 2):

$$E_{1\text{см}}^{1\%} = \frac{\Delta D}{C \times l} \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация исследуемого вещества в %,

$l$  – толщина поглощающего слоя в см,

$\Delta D = D_{\text{pH=13}} - D_{\text{pH=9}}$ .

Из однородных результатов, используя статистическую обработку, определяли среднее арифметическое значение удельного показателя поглощения, которое составило  $E_{1\text{см}}^{1\%} = 410$ .

Расчет концентрации циклобарбитала ( $X$ ) в исследуемых объектах производили по формуле:

$$X = \frac{\Delta D \times V_1 \times V_3 \times 100\%}{E_{1\text{см}}^{1\%} \times V_2 \times 10 \times V} \quad (2)$$

где  $\Delta D = D_{\text{pH=13}} - D_{\text{pH=9}}$ ,

$V_1$  – общий объем хлороформного извлечения, мл,

$V_2$  – аликвотная часть хлороформного извлечения, взятого на исследование, мл,

$V_3$  – разведение, мл,

$E_{1\text{см}}^{1\%}$  – удельный показатель поглощения, равный 410,

$V$  – объем биожидкости, мл.

Таблица 2 – Результаты количественного определения

Концентрация циклобарбитала, мг%	D при pH=9	D при pH=13	$E_{1\text{см}}^{1\%}$
0,4	0,192	0,030	405
0,6	0,286	0,040	410
0,8	0,396	0,066	412
0,10	0,490	0,075	415
0,15	0,712	0,100	408
0,20	0,947	0,127	410

Концентрация циклобарбитала по формуле (2) равна: в крови 0,9 мг%; в моче 0,4 мг%, в промывных водах 1,2 мг%.

По 1 мл кислых извлечений и 0,1 мл хлороформного раствора таблеток переносили в чистые флаконы и испаряли растворитель досуха. К сухим остаткам добавляли 100 мкл этилацетата и по 1 мкл этилацетатных растворов исследовали на хромато-масс-спектрометре Agilent7890/5975N EI/PCI с капиллярной колонкой HP-5 MS длиной 30 м и диаметром 0,25 мм. Начальная температура колонки 100°C, скорость подъема температуры 25°C в минуту до 300°C. Время эксперимента – 26 минут.

По результатам исследования были идентифицированы пики, соответствующие по времени удерживания и масс-спектрам циклобарбиталу и диазепаму в крови, моче, промывных водах желудка, неизвестной таблетке.

Стоит отметить, что газовая хроматография с масс-селективным детектированием (ГХ/МС) получила широкое распространение в судебно-химическом и химико-токсикологическом анализе как высокоспецифичный, чувствительный и достаточно экспрессный метод.

#### Заключение

С целью сокращения времени химико-токсикологического анализа биожидкостей при отравлении производными барбитуровой кислоты и смешанных отравлениях, в том числе производными барбитуровой кислоты, предложено использовать комбинацию принципиально разных методов, и получение по каждому из них положительных результатов. При этом выполняется основное правило – проведение химико-токсикологического анализа как минимум двумя методами, причем один из этих методов используется для предварительного исследования, а другой – для подтверждающего исследования. Также оптические и хроматографические, в совокупности с масс-селективным детектированием, методы позволяют открывать не только производные барбитуровой кислоты, но и другие токсикологически важные соединения одновременно.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Вергейчик Т.Х. Токсикологическая химия: учебник / Т. Х. Вергейчик. – М.: МЕДпресс-информ, 2009. – С. 142-157
2. Внуков В.И. Тонкослойная хроматография при исследовании наркотических средств [Электронный ресурс] / В.И. Внуков, Д.В. Кайргалиев, Д.В. Васильев и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1-2; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19878> (дата обращения: 14.02.2020).
3. Ермаков М.Г. Психоактивные свойства сильнодействующих и ядовитых веществ: уголовно-правовой аспект / М.Г. Ермаков // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2012. – №4 (51). – С. 10-13
4. Захарченко М.Ю. Барбитураты, бензодиазепины, анаболические стероиды: история создания, действие, анализ: учебно-справочное пособие / М.Ю. Захарченко, И.Н. Мельников, Д.В. Кайргалиев; под ред. С. Я. Пичхидзе // Саратов: КУБиК, 2015. – 189 с.
5. Илларионова Е.А. Химико-токсикологический анализ снотворных лекарственных средств: учебное пособие / Е.А. Илларионова, И.П. Сыроватский; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, кафедра фармацевтической и токсикологической химии. – Иркутск: ИГМУ, 2016 – 32 с.
6. Кайргалиев Д.В. Современные возможности экспертного исследования барбитуратов в сложных смесях / Д.В. Кайргалиев, И.Н. Мельников, Д.В. Васильев // Техничко-криминалистическое обеспечение раскрытия и расследования преступлений: сборник тезисов и статей Международной научно-практической конференции, 19 октября 2018 г. / [составитель: Васильев Д. В.]. – Волгоград: Перископ-Волга, 2018. – С. 119-122
7. Калетина Т.И. Токсикологическая химия. Аналитическая токсикология: учебник / Т.И. Калетина; под ред. Р.У. Хабриева, Н.И. Калетиной. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – С. 472-484
8. Киричек А.В. Исследование производных барбитуровой кислоты в застарелых пятнах крови на тканях / А.В. Киричек, А.Э. Шабалина, Л.А. Рассинская // Судебно-медицинская экспертиза. – М., 2017 – №2. – С. 27-29.
9. Петрова О.С. Токсикологическая химия: учебно-методическое пособие / О.С. Петрова, Г.А. Антропова // НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – С. 49-54
10. Clarke's analysis of drugs and poisons / Ed.Moffat A.C., Osselton M.D., Widdop B.– London, Pharmaceutical Press, 2011. – Fourth Edition. – P. 1177

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

1. Vergejchik T.H. Toksikologicheskaya himiya: uchebnik [Toxicological chemistry: textbook] / T. H. Vergejchik. – M.: MEDpress-inform, 2009. – P. 142-157 [in Russian]
2. Vnukov V.I. Tonkoslojnaya hromatografiya pri issledovanii narkoticheskikh sredstv [Thin-layer chromatography in the study of narcotic drugs] [Electronic resource] / V.I. Vnukov, D.V. Kajrgaliev, D.V. Vasil'ev et al // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2015. – №1-2; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19878> (accessed: 14.02.2020).
3. Ermakov M.G. Psihoaktivnye svoystva sil'nodejstvuyushchih i yadovityh veshchestv: ugovolno-pravovoj aspekt [Psychoactive properties of potent and toxic substances: criminal law aspect] / M.G. Ermakov // Psihopedagogika v pravoohranitel'nyh organah. – 2012. – №4 (51). – P. 10-13
4. Zaharchenko M.Yu. Barbituraty, benzodiazepiny, anabolicheskie steroidy: istoriya sozdaniya, dejstvie, analiz: uchebno-spravochnoe posobie [Barbiturates, benzodiazepines, anabolic steroids: history of creation, action, analysis: educational reference guide] / M.Yu. Zaharchenko, I.N. Mel'nikov, D.V. Kajrgaliev; pod red. S. Ya. Pichkhidze // Saratov: KUBiK, 2015. – 189 p. [in Russian]
5. Illarionova E.A. Himiko-toksikologicheskij analiz snotvornyh lekarstvennyh sredstv: uchebnoe posobie [Chemical and Toxicological analysis of sleeping pills: textbook] / E.A. Illarionova, I.P. Syrovatskij; FGBOU VO IGMU Minzdrava Rossii, kafedra farmaceuticheskoy i toksikologicheskoy himii. – Irkutsk: IGMU, 2016 – 32 p. [in Russian]
6. Kajrgaliev D.V. Sovremennye vozmozhnosti ekspertnogo issledovaniya barbituratov v slozhnyh smesyah [Modern possibilities of expert research of barbiturates in complex mixtures] / D.V. Kajrgaliev, I.N. Mel'nikov, D.V. Vasil'ev // Tekhniko-kriminalisticheskoe obespechenie raskrytiya i rassledovaniya prestuplenij: sbornik tezisov i statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 19 oktyabrya 2018 g. / [sostavitel': Vasil'ev D. V.]. – Volgograd: Periskop-Volga, 2018. – P. 119-122 [in Russian]
7. Kaletina T.I. Toksikologicheskaya himiya. Analiticheskaya toksikologiya: uchebnik [Toxicological chemistry. Analytical toxicology: textbook] / T.I. Kaletina; pod red. R.U. Habrieva, N.I. Kaletinoj. – M.: GEOTAR-Media, 2010. – P. 472-484 [in Russian]
8. Kirichek A.V. Issledovanie proizvodnyh barbiturovoj kisloty v zastarelyh pyatnah krovi na tkanyah [Study of barbituric acid derivatives in old blood spots on tissues] / A.V. Kirichek, A.E. Shabalina, L.A. Rassinskaya // Sudebno-medicinskaya ekspertiza. – M., 2017 – №2. – P. 27-29 [in Russian]
9. Petrova O.S. Toksikologicheskaya himiya: uchebno-metodicheskoe posobie [Toxicological chemistry: educational and methodical manual] / O.S. Petrova, G.A. Antropova // NovGU im. Yaroslava Mudrogo. – Velikij Novgorod, 2012. – P. 49-54 [in Russian]
10. Clarke`s analysis of drugs and poisons / Ed.Moffat A.C., Osselton M.D., Widdop B.– London, Pharmaceutical Press, 2011. – Fourth Edition. – P. 1177