

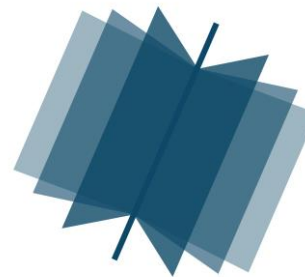
№ 1 (115) ▪ 2022
Часть 1 ▪ Январь

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

ISSN 2227-6017 ONLINE

Екатеринбург
2022



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

**№ 1 (115) 2022
Часть 1
Январь**

Дата выхода 24.01.2022
Цена: бесплатно.

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

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

Члены редколлегии:

Филологические науки:

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

Технические науки:

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

Педагогические науки:

Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия);
Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);
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. наук проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);
Брылеев В.А. д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);
Огуреева Г.Н. д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

Биологические науки:

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

Архитектура:

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

Ветеринарные науки:

Алиев А.С. д-р ветеринар. наук, проф., Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия);

Татарникова Н.А. д-р ветеринар. наук, проф., Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова (Пермь, Россия).

Медицинские науки:

Никольский В.И. д-р мед. наук, проф., Пензенский государственный университет (Пенза, Россия);

Ураков А.Л. д-р мед. наук, Ижевская Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

Исторические науки:

Меерович М.Г. д-р ист. наук, к. архитектуры, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск, Россия);

Бакулин В.И. д-р ист. наук, проф., Вятский государственный университет (Киров, Россия);

Бердинских В.А. д-р ист. наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Россия);

Лёвочкина Н.А. к. ист. наук, к. экон. наук, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);

Блейх Н.О. д-р ист. наук, Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова (Владикавказ, Россия).

Культурология:

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

Искусствоведение:

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

Философские науки:

Петров М.А. д-р филос. наук, Института философии РАН (Москва, Россия);

Бессонов А.В. д-р филос. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);

Цыганков П.А. д-р филос. наук., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия);

Лойко О.Т. д-р филос. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

Юридические науки:

Костенко Р.В. д-р юрид. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);

Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Северо-Кавказский федеральный университет в г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);

Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);

Ергашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

Сельскохозяйственные науки:

Важов В.М. д-р с.-х. наук, проф., Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина (Бийск, Россия);

Раков А.Ю. д-р с.-х. наук, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Михайловск, Россия);

Комлацкий В.И. д-р с.-х. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);

Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Белгород, Россия);

Наумкин В.П. д-р с.-х. наук, проф., Орловский государственный аграрный университет.

Социологические науки:

Замараева З.П. д-р социол. наук, проф., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия);

Солодова Г.С. д-р социол. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);

Кораблева Г.Б. д-р социол. наук, Уральский Федеральный Университет (Екатеринбург, Россия).

Химические науки:

Абдиев К.Ж. д-р хим. наук, проф., Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);

Мельдешов А. д-р хим. наук, Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);

Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия).

Науки о Земле:

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

Экономические науки:

Лёвочкина Н.А. д-р экон. наук, к. ист. н., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);

Ламоттке М.Н. к. экон. н., Нижегородский институт управления (Нижний Новгород, Россия);

Акбулаев Н. к. экон. н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан);

Кулиев О. к. экон. н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан).

Политические науки:

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

Фармацевтические науки:

Тринеева О.В. к. фарм. н., Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия);

Кайшева Н.Ш. д-р фарм. наук, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия);

Ерофеева Л.Н. д-р фарм. наук, проф., Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия);

Папанов С.И. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);

Петкова Е.Г. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);

Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия);

Ураков А.Л., д-р мед. наук, Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Гончарова А.Б., Данилова М.Ю., Колпак Е.П. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХИЩНИК-ЖЕРТВА НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	6
Димитриенко Ю.И., Юрин Ю.В., Гумиргалиев Т.Р., Краснов Г.А. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОЛЗУЧЕСТИ КРИВОЛИНЕЙНО-АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД МЕТОДОМ РУНГЕ— КУТТА—ФЕЛЬБЕРГА 5-6 ПОРЯДКА	13

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Битуева Э.Б., Анцупова Т.П., Павлова Е.П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЖИМКИ <i>VACCINIUM VITIS-IDAEAE</i> L. В ТЕХНОЛОГИИ КОТЛЕТ ДЛЯ ГАМБУРГЕРОВ.....	24
Бормотов А.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ.....	28
Каменчуков А.В., Селенок М.Д. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ВНУТРЕННИМИ И ОТРАЖЕННЫМИ ТРЕЩИНАМИ В ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЕ	34
Карев А.Н., Федосин С.А. ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ В ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОРТАЛОВ	41
Курмаев Т.И. СРАВНЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ.....	45
Миронова Е.В., Харитонов Д.В., Анашкина А.А. ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СЫРЦА КВАРЦЕВОЙ КЕРАМИКИ НА СПЕКАНИЕ	48
Нестеренко Г.А., Лысенко Е.А., Нестеренко И.С., Шух Г.В., Морозова А.Р. ОБЗОР РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	52
Новопашина Н.А., Филатова Е.Б., Баландина О.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОМОГРАММ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГАЗОПРОВОДОВ	55
Русакова З.Н. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАБЛОНА C++ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕШАЮЩИХ ГРАФОВ В ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	62
Сабодаш О.А., Бондаренко С.В., Левченко Л.Е. АНАЛИЗ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК ОТ ОДНОЛЕТНИХ ТОРОСОВ НА МОРСКИЕ НЕФТЕГАЗОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПО НОРМАМ РАЗЛИЧНЫХ СТРАН.....	67
Тимохова О.М., Кручинин И.Н., Тимохов Р.С. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОТУ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН.....	71
Федотов В.А., Берестова А.В., Манеева Э.Ш. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВКИ ПШЕНИЦЫ	75
Федянин М.Р., Лазарев В.М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НА СНИМКЕ УГЛА РАССОГЛАСОВАНИЯ ДВУХ КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ОПОРНЫХ ЗВЕЗД.....	78
Хомус С.С.С.У., Степанов К.М. ПОЛУЧЕНИЕ ПЕКТИНА ИЗ ЯКУТСКОЙ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ.....	84
Юнин В.А., Захаров А.М., Зыков А.В. ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСЕРВАНТОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ	89

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Бакай Ф.Р., Мкртчян Г.В. ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ БЕЛКА И МАССОВОЙ ДОЛИ ЖИРА У КОРОВ РАЗНЫХ ГЕНЕРАЦИЙ С ВОЗРАСТОМ.....	96
Бугрей И.В. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВ ГОРОХА	100

Замана С.П., Кондратьева Т.Д., Федоровский Т.Г., Соколов С.А. АМИНОКИСЛОТНЫЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ МОРКОВИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОСТИМУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ МИКРООРГАНИЗМОВ	104
Земляничина С.В. ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ПЕРЕЗИМОВКУ И ГУСТОТУ СТЕБЛЕСТОЯ ЭСПАРЦЕТА	108
Казанчев С.Ч., Унажоков А.М., Магомедов К.Г., Кожаева Д.К. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОЧНОЙ ЯГНЯТИНЫ	112
Майбородин С.В. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ВЕДЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ВИНОГРАДНЫХ КУСТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ	118
Руденко Р.А., Ткачёва И.В. НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО РЫБОЛОВСТВА	121
Руденко Р.А., Ткачёва И.В. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННОГО МЯСА.....	125
Секерин И.М., Ерицов А.М., Залесов С.В. АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКОЙ ГОРИМОСТИ ЛЕСОВ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА И ПУТИ ЕЕ СНИЖЕНИЯ.....	129
Сорокина И.Ю. ВЗАИМОСВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ТРИТИКАЛЕ	134
Сорокина И.Ю., Кумачева В.Д. ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЧЕЧЕВИЦЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СОРТОВ В УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ.....	140
Фефелова И.А., Сураев П.Н., Микеладзе Ш.Э. ВЛИЯНИЕ ПРОХОДНЫХ РУБОК НА ПОДРОСТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ СОСНЯКА ЯГОДНИКОВОГО	144
Хабиров И.К., Сайфуллин Р.Р. ЭРОЗИЯ ПОЧВ И ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ	150
Юнин В.А., Захаров А.М., Зыков А.В., Безух Е.П. ВЛИЯНИЕ СХЕМ ПОСАДКИ И ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ВЫХОД САЖЕНЦЕВ.....	153

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

Малеев А.И., Товбис М.С. ПОИСК СШИВАЮЩИХ АГЕНТОВ ДЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СОСТАВОВ..	157
Морозова А.В., Волкова Г.И. ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВЫСОКОСМОЛИСТОЙ НЕФТИ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ	162

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / EARTH SCIENCES

Астанин Д.М. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ В СТРУКТУРЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ СИСТЕМ	168
Вдовенко А.В., Вдовенко В.А., Егоров П.И., Трофимов И.Ю., Кудинов И.В., Кашина Ж.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕЛЯХ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ	172
Губарев С.А. ПРОБЛЕМА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАВЫШЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДУЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МЕЛО-МЕРГЕЛЬНЫХ ПОРОД.....	178
Елизарьев А.Н., Тараканов Д.А., Садыков И.В., Елизарьева Е.Н., Михайлов С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.	183
Келигов М.-Б.С. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕКУЩИХ ДОБЫЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	187
Керимов А.М., Акшаяков З.Т., Курашева О.А. ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ АЗОТОСОДЕРЖАЩИХ ИОНОВ В Р. БАКСАН ОТ ЕЁ ИСТОКОВ ДО ВЫХОДА НА РАВНИНУ И В СЕЗОННОЙ СНЕЖНОЙ ТОЛЩЕ ЛЕДНИКА ГАРАБАШИ (ЭЛЬБРУС)	192

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.001>

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХИЩНИК-ЖЕРТВА НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Научная статья

Гончарова А.Б.^{1,*}, Данилова М.Ю.², Колпак Е.П.³

^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (a.goncharova[at]spbu.ru)

Аннотация

Анализируется локальная модель хищник-жертва Rosenzweig M.G. и MacArthur R.H. Определены условия «гибели» хищника, частота затухающих колебаний численности популяций. Разработана модель антропогенного давления, учитывающая снижение рождаемости жертв, уменьшение количества трофического ресурса, уменьшение емкости среды. Построены возможные распределения численности жертв и хищников в зависимости от различных факторов, определяющих взаимодействие популяций с учетом антропогенного давления.

Ключевые слова: устойчивость, дифференциальные уравнения, трофический ресурс, хищник, жертва, имитационное моделирование.

PREDATOR-PREY MATHEMATICAL MODEL IN A POLLUTED AREA

Research article

Goncharova A.B.^{1,*}, Danilova M.Yu.², Kolpak E.P.³

^{1, 2, 3} Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (a.goncharova[at]spbu.ru)

Abstract

The current article conducts an analysis of the Rosenzweig-MacArthur local predator-prey model and determines the conditions for the "death" of the predator, the frequency of damped oscillation in the number of populations. The authors develop a model of anthropogenic pressure that takes into account a decrease in the birth rate of victims, a decrease in the amount of trophic resource, and a decrease in the capacity of the environment. Possible distributions of the number of victims and predators are constructed depending on various factors determining the interaction of populations taking into account anthropogenic pressure.

Keywords: stability, differential equations, trophic resource, predator, prey, simulation modelling.

Введение

Воздействие человека на окружающую среду началось около 10 тыс. л.н. освоением земледелия и животноводства. Развитие сельского хозяйства сопровождалось вырубкой лесов, потравой лугов, уничтожением пастбищ. При этом на освоенных территориях изменялись флора и фауна, нарушался гидрологический режим водных систем. Экстенсивное освоение земель постепенно привело к экологическому дисбалансу в функционировании неустойчивых природных комплексов. Многие виды животных и растений погибли в результате освоения человеком новых территорий, с применением новых технологий воздействия на все элементы освоенной им среды обитания.

Сегодняшний этап антропогенного воздействия на окружающую среду начался в XIV-XV веках. Высокие темпы технологического развития, поддерживаемые экстенсивным использованием природных ресурсов для увеличения валового продукта, в XX веке привели к многократному увеличению промышленного производства и потребления энергетических ресурсов [1].

Вредные для всего живого вещества антропогенного происхождения наполняют воздушный и водный бассейны, загрязняя обширные территории [2]. Загрязнение среды обитания ведет к кардинальным изменениям условий существования населяющих эти территории растений и животных, может изменить направленность и формы естественного отбора, способно перестроить генетическую структуру природных популяций, привести к уменьшению видового разнообразия и исчезновению отдельных видов [3].

Попадая по сложным биологическим и пищевым цепям в организмы животных и растений, токсиканты вызывают несвойственные биологические реакции, вызывая впоследствии нарушение многих биохимических функций в клетках организмов, нарушая метаболические реакции. Все это приводит к тяжелым поражениям жизненно важных органов и нервной системы, а также отрицательно влияет на наследственность [4]. Накопленные у одних организмов вещества через трофические цепи поступают в другие организмы. Антропогенное давление приводит также и к уменьшению емкости экосистемы и объемам трофических ресурсов [5].

Математическая модель хищник-жертва

Математическая модель Вольтера хищник-жертва объясняет колебания численности хищника и жертвы. Однако эта модель не учитывает различные факторы, которые, как следует из полевых наблюдений, влияют на распределение численности этих биологических популяций в экосистемах. Численность популяции жертв ограничена трофическим ресурсом жертвы. Соответственно ее численность в отсутствие хищников ограничена сверху. При избытке жертв роль хищников сводится к постоянному давлению на популяцию жертв. Эти факторы учитываются в модели Rosenzweig M.G. и MacArthur R.H. [6], [7].

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= ax \left(1 - \frac{x}{K} \right) - b \frac{xy}{1 + Ax}, \\ \frac{dy}{dt} &= -cy + d \frac{xy}{1 + Ax}, \end{aligned} \quad (1)$$

где x - численность жертв, y - численность хищников, a, b, c, d, A - параметры, характеризующие скорости размножения и гибели хищников и жертв, K - емкость среды.

Слагаемое $ax \left(1 - \frac{x}{K} \right)$ в первом уравнении системы уравнений (1) – скорость роста численности популяции жертв в отсутствие хищников, а слагаемое $b \frac{xy}{1 + Ax}$ - скорость уничтожения жертв хищниками. Во втором уравнении слагаемое $-cy$ - скорость естественной гибели хищников, а слагаемое $d \frac{xy}{1 + Ax}$ - скорость роста популяции хищников за счет уничтожения ими жертв.

Система уравнений (1) заменой переменных $t = \tau / a, x = Ku, y = va / b$ переводится в систему уравнений [8]

$$\begin{aligned} \frac{du}{d\tau} &= u(1-u) - \frac{uv}{1 + \alpha u}, \\ \frac{dv}{d\tau} &= \gamma \left(-v + \beta \frac{uv}{1 + \alpha u} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\gamma = c / a, \beta = \frac{d}{c} K, \alpha = AK$.

К системе уравнений (2) добавляются начальные условия при $\tau = 0$: $u = u_0, v = v_0$.

Стационарные состояния

Система уравнений (2) имеет стационарную точку

$$u = 0, v = 0.$$

Одно из двух собственных значения матрицы Якоби $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = -\gamma$ в этой точке будет отрицательным. Поэтому эта стационарная точка неустойчивая.

В стационарной точке

$$u = 1, v = 0$$

собственные значения матрицы Якоби правой части системы уравнений (2) в этой точке

$$\lambda_1 = -1, \lambda_2 = \gamma \left(-1 + \frac{\beta}{1 + \alpha} \right).$$

При выполнении неравенства $\frac{\beta}{1 + \alpha} < 1$ оба собственных значения будут отрицательными. Соответственно это неравенство является условием гибели хищника: при малом «поедании» жертвы хищником (большие значения параметра α) или медленной переработке жертвы хищником (малые значения параметра β).

Нетривиальная стационарная точка, в которой $0 < u$ и $0 < v$ находится из системы алгебраических уравнений

$$1 - u - \frac{v}{1 + \alpha u} = 0, \quad \beta \frac{u}{1 + \alpha u} - 1 = 0.$$

Решением этой системы уравнений являются

$$u = \frac{1}{\beta - \alpha}, \quad v = \beta \frac{\beta - \alpha - 1}{\beta - \alpha^2}. \quad (3)$$

Физический смысл это решение имеет при выполнении неравенства $\beta > 1 + \alpha$, или $\frac{d}{c}K > 1 + AK$. То есть скорость переработки хищником жертвы (параметр d) должна быть значительно больше, чем скорость его гибели (параметр c).

Характеристический полином матрицы Якоби правой части уравнений (2)

$$\lambda^2 + u \left(1 + \frac{\alpha v}{1 + \alpha u} \right) \lambda + \gamma \beta \frac{v}{1 + \alpha u} \frac{u}{1 + \alpha u} = 0$$

в этой стационарной точке имеет корни с отрицательной вещественной частью. Поэтому эта стационарная точка будет устойчивой. В зависимости от значений параметров α , β и γ это будет или устойчивый фокус, или устойчивый узел.

Зависимости функций $u(t)$ и $v(t)$ для случая $\alpha = 2$, $\beta = 5$, $\gamma = 1$ приведены на рис. 1 для случая начальных условий $u = 1$ и $v = \varepsilon \ll 1$. Этот вариант начальных условий соответствует случаю появления небольшого количества хищников на «территории», полностью освоенной жертвой. Увеличение популяции хищников сопровождается возникновением затухающих колебания численности хищников и жертв.

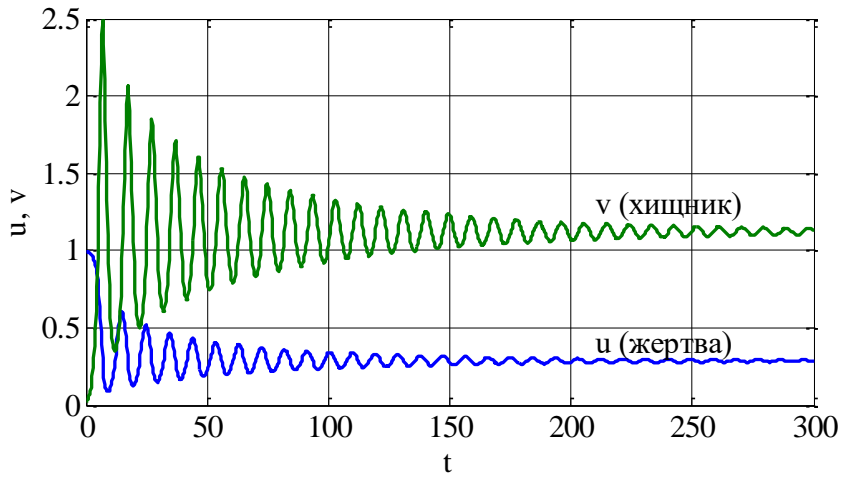


Рис. 1 – Зависимость функций $u(t)$ и $v(t)$ от времени

Имитационное моделирование

Модель (2) содержит параметры α , β и γ . Конкретный набор этих параметров можно сопоставлять с конкретной парой хищник-жертва. Выбор этих параметров из заданного диапазона случайным образом позволяет оценить возможное распределение численности пар хищников и жертв. Для 50 000 вариантов таких пар на рис. 2 приведено распределение жертв и хищников по численности для случая выбора $\alpha \in 1,5$, $\beta \in 3,8$, $\gamma \in 1,2$. Система уравнений (2) допускает наличие затухающих колебаний в окрестности стационарной точки (3). На рис. 3 приведено распределение «жертв» по частоте ω затухающих колебаний. В 4% всех случаев стационарная точка является устойчивым узлом.

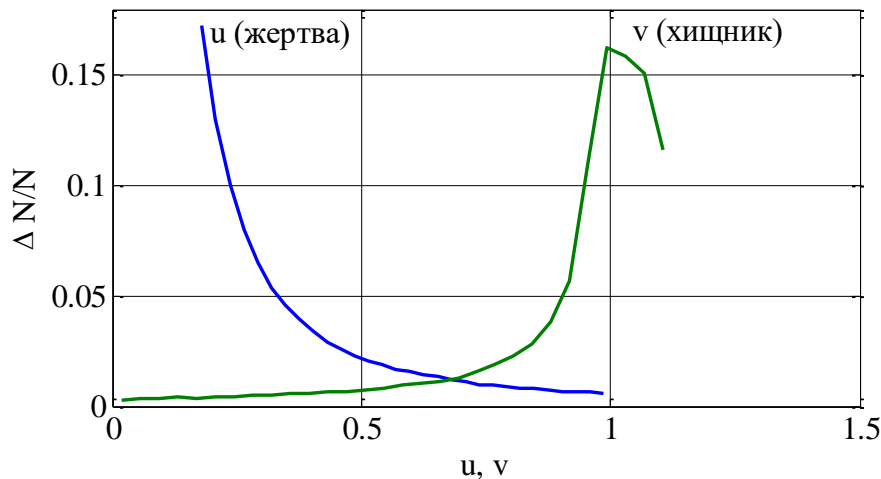


Рис. 2 – Распределение «хищников» и «жертв» по численности

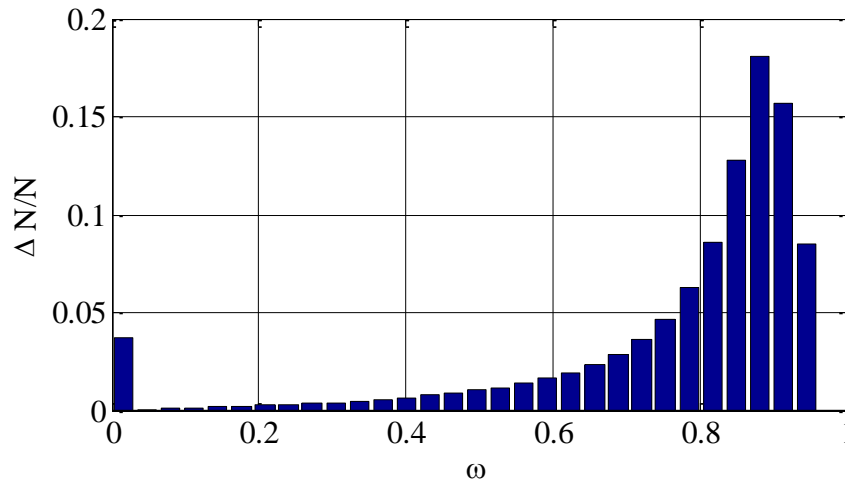


Рис. 3 – Распределение жертв по частоте колебаний их численности

Модель антропогенного давления

Добыча ископаемых и их переработка сопровождается распространением в окрестности соответствующих производств веществ, пагубно влияющих на живое вещество. Часть флоры и фауны погибает, часть может сохраниться, но различные вещества накапливаются в организмах, изменяя каскад внутренних процессов. Эти изменения сопровождаются изменением рождаемости, продолжительности жизни, появлением специфических заболеваний. Одновременно с этим происходит уменьшение размеров экосистем, вызванное уничтожением части трофического ресурса и фрагментированием территории [9]. В модели изменение внутреннего метаболизма у части особей в популяции рассматривается как уменьшение удельной скорости роста численности популяции жертв, а уменьшение размеров экосистемы – как уменьшение емкости среды.

Токсиканты накапливаются в живом организме то определенного предела [10]. В модели предполагается, что это не приводит к гибели особей, а ведет к уменьшению их рождаемости. С учетом этого принимается, что удельная скорость роста численности жертв изменяется на величину

$$\frac{1 + a_1 P}{1 + a_2 P} \quad a_1 < a_2 \quad ,$$

а скорость естественной гибели хищников на величину

$$\frac{1 + c_1 P}{1 + c_2 P} \quad c_2 < c_1 \quad .$$

При этом предполагается, что емкость среды уменьшается на величину

$$\frac{1 + b_1 P}{1 + b_2 P} \quad b_1 < b_2 \quad .$$

С учетом этих предположений модель (1) при антропогенном давлении приводится к виду

$$\begin{aligned} \frac{du}{d\tau} &= u \left(\frac{1 + a_1 P}{1 + a_2 P} - \frac{1 + b_2 P}{1 + b_1 P} u \right) - \frac{uv}{1 + cu} , \\ \frac{dv}{d\tau} &= \gamma \left(-\frac{1 + c_1 P}{1 + c_2 P} v + \beta \frac{uv}{1 + cu} \right) . \end{aligned} \tag{4}$$

При $P = 0$ система уравнений (4) переходит в систему уравнений (1), а при $P \rightarrow \infty$ удельная скорость роста численности жертв не может быть меньше величины $a_1 / a_2 < 1$, удельная скорость смертности хищников не может быть больше величины $c_1 / c_2 > 1$, емкость среды уменьшится менее величины $b_1 / b_2 < 1$.

Тривиальная стационарная точка системы уравнений (4)

$$u = 0, v = 0$$

будет неустойчивой, поскольку одно из собственных значений матрицы Якоби правой части уравнений (4)

$$\lambda_1 = \frac{1 + a_1 P}{1 + a_2 P}, \quad \lambda_2 = -\gamma \frac{1 + c_1 P}{1 + c_2 P}$$

будет положительным.
В стационарной точке

$$u = \frac{1 + a_1 P}{1 + a_2 P}, \quad v = 0$$

собственными значениям матрицы Якоби будут

$$\lambda_1 = -\frac{1 + a_1 P}{1 + a_2 P}, \quad \lambda_2 = \gamma \left(-\frac{1 + c_1 P}{1 + c_2 P} + \beta \frac{u}{1 + \alpha u} \right).$$

Поскольку стационарное значение u в этой точке лежит в диапазоне $\frac{a_1 b_1}{a_2 b_2} \leq u \leq 1$, то при выполнении неравенства $\beta < \frac{1 + c_1 P}{1 + c_2 P}$ оба собственных значения будут отрицательными и эта стационарная точка будет устойчивой. То есть при больших концентрациях токсикантов модель антропогенного давления предсказывает гибель популяции хищника.

На рис. 4 отражена зависимость функций $u(t)$ и $v(t)$ при значениях $\alpha = 2, \beta = 5, \gamma = 1$ для случая начальных условий $u = 1$ и $v = \varepsilon \ll 1$. Предполагалось, антропогенное давление начиналось в момент времени $t = t_*$ и изменялось во времени по закону $P(t) = A(1 - e^{-\mu(t-t_*)})$, где $A = 1.2, \mu = 1.5, t_* = 20$.

Распределение 10 000 комбинаций стационарных значений системы уравнений (4) при случайном выборе параметров: $a_1 \in 0.5, 1, a_2 \in 1, 2, b_1 \in 0.5, 1, b_2 \in 1, 2, c_1 \in 1, 2, c_2 \in 0.5, 1, P = 0$ и $P = 5$, отражено на рис. 5 для u , на рис. 6 для v . Вертикальной пунктирной линией отмечен момент начала антропогенного давления. Как следует из анализа полученных результатов (рис. 4, рис. 5, рис. 6) модель (4) антропогенного давления на систему хищник-жертва прогнозирует большие потери численности популяции хищников, чем жертв.

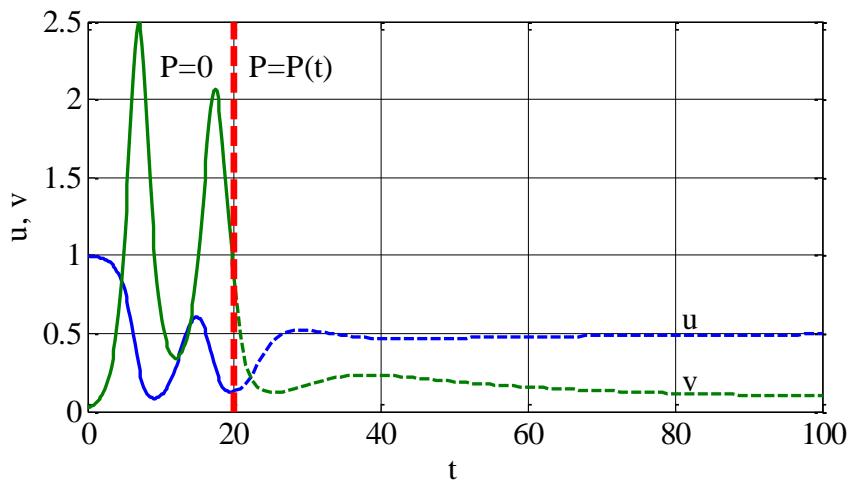


Рис. 4 – Изменение численности хищников и жертв при антропогенном давлении

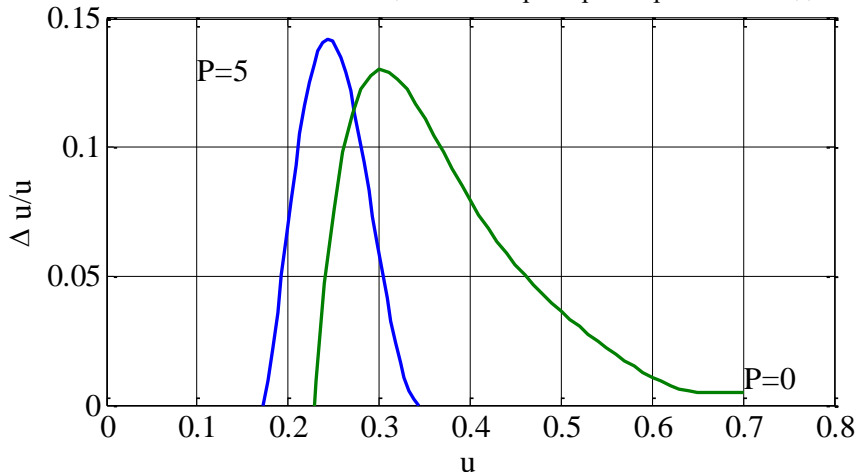


Рис. 5 – Распределение численности жертв по стационарным значениям численности при $P = 0$ и $P = 5$

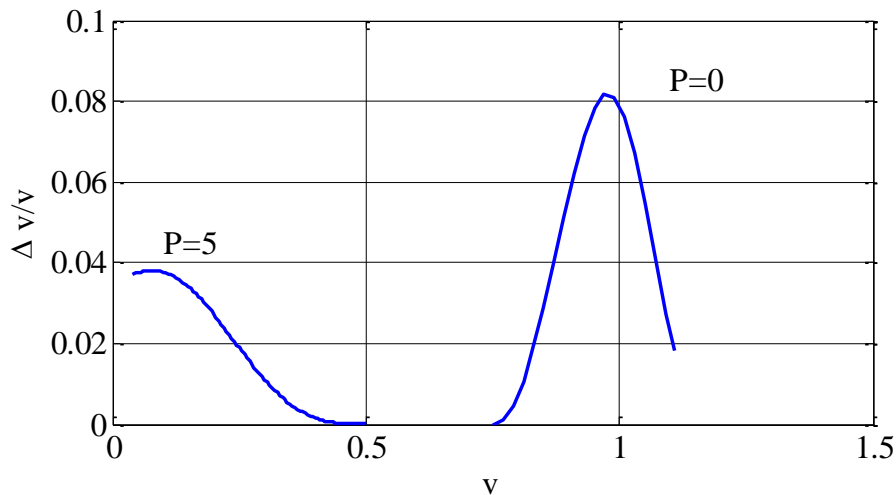


Рис. 6 – Распределение численности хищников по стационарным значениям численности при $P=0$ и $P=5$

Заключение

Математические модели хищник-жертва, отличные от модели Вольтерра, прогнозируют различные варианты динамики взаимодействия популяций со стремлением к стационарному состоянию с периодическим изменением численности популяций. Содержат и варианты гибели хищника. Антропогенное давление на популяции может сопровождаться уменьшением их численности, определяемой уменьшением рождаемости, уменьшением трофического ресурса и размеров экосистемы. Наибольшие потери численности могут нести хищники.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Пегов А.С. Антропогенное воздействие на биосферу / А.С. Пегов // Труды ИСА РАН. - 2009. - Т. 42. - С. 5-32.
2. Кин Н.О. Растительные сообщества в зоне промышленной разработки газа и аккумуляция ими тяжелых металлов / Н.О. Кин // Экология. - 2008. - № 4. - С. 269-275.
3. Черненко Т. В. Оценка биоразнообразия лесов в зоне влияния горно-металлургического комбината «Североникель» / Т. В. Черненко, Е. В. Басова, Ю. Н. Бочкарев и др. // Лесоведение, - 2009. - № 6. - с. 32-45.
4. Моисеенко Т. И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных системах: критические уровни загрязнения / Т. И. Моисеенко // Геохимия. - 2019. - Т. 64. - № 7. - С. 675-688. DOI: 10.31857/S0016-7525647675-688.
5. Бигон М. Экология. Особи, популяции и сообщества: В двух томах / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. М., 1989. Т. 1. 667 с.; Т. 2. 477 с.
6. Rosenzweig M.G. Graphical representation and stability conditions of predator-prey interactions / M.G. Rosenzweig, R.H. MacArthur // Amer. Natur. - 1963. - vol. 97. - № 893. - P. 209-223.
7. Цибулин В. Г. Нелинейная динамика системы хищник-жертва на неоднородном ареале и сценарии локального взаимодействия видов / В. Г. Цибулин, Т. Д. Ха, П. А. Зеленчук // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. - 2021. - Т. 29. - № 5. - С. 751-764. DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-5-751-764.
8. Базыкин А.Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций / А.Д. Базыкин. - Москва-Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2003. 368 с.
9. Опекунова М.Г. Мониторинг изменения окружающей среды в зоне воздействия комбината «Североникель». II Миграция и аккумуляция химических элементов в почвах / М.Г. Опекунова, Е.Ю. Елсукова, В.А. Чекушин и др. // Вестник СПбГУ. Сер. 7. - 2006. - Вып. 3. - С. 39-49.
10. Мухачева С.В. Химическое загрязнение среды: тяжелые металлы в пище мелких млекопитающих / С.В. Мухачева, В.С. Безель // Зоологический журнал. - 2007. - Т. 86. - № 4. - С.492-498.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Pegov A.S. Antropogennoe vozdejjstvie na biosferu [Anthropogenic impact on the biosphere] / A. S. Pegov // Trudy ISA RAN [Proceeding of the Institute for Systems Analysis of the Russian Academy of Science]. - 2009. -Vol. 42. -pp. 5-32 [in Russian]
2. Kin N.O. Rastitel'nye soobshhestva v zone promyshlennoj razrabotki gaza i akumuljacija imi tzhzhelykh metallov [Plant communities in the zone of industrial gas development and their accumulation of heavy metals] / N. O. Kin // Ekologiya [Ecology]. -2008. -No. 4. -pp. 269-275 [in Russian]
3. Chernenkova T. V. Otsenka bioraznoobrazija lesov v zone vlijaniya gorno-metallurgicheskogo kombinata "Severonikel'" [Assessment of forest biodiversity in the zone of influence of the Severonikel Mining and Metallurgical Combine] / T. V. Chernenkova, E. V. Basova, Yu. N. Bochkaev, et al. // Lesovedenie [Forest Science], -2009. -No. 6. -pp. 32-45 [in Russian]
4. Moiseenko T. I. Biodostupnost' i ehkotoksichnost' metallov v vodnykh sistemakh: kriticheskie urovni zagrjaznenija [Bioavailability and ecotoxicity of metals in water systems: critical pollution levels] / T. I. Moiseenko // Geokhimiya [Geochemistry]. - 2019. -Vol. 64. -No. 7. -pp. 675-688. DOI: 10.31857/S0016-7525647675-688 [in Russian]

5. Begon M. *Osobi, populjicii i soobshhestva* [Ecology: Individuals, Populations and Communities] in two volumes / M. Begon, J. Harper, K. Townsend M. . M., 1989. Vol. 1. 667 p.; Vol. 2. 477 p. [in Russian]
6. Rosenzweig M.G. Graphical representation and stability conditions of predator-prey interactions / M.G. Rosenzweig, R.H. MacArthur // *Amer. Natur.* - 1963. - vol. 97. - № 893. - P. 209-223.
7. Tsybulin V. G. Nelinejnaja dinamika sistemy khishhnik–zhertva na neodnorodnom areale i scenarii lokal'nogo vzaimodejstvija vidov [Nonlinear dynamics of the predator-prey system on an inhomogeneous area and scenarios of local interaction of species] / V. G. Tsybulin, T. D. Kha, P. A. Zelenchuk // *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenijj. Prikladnaja nelinejnaja dinamika* [Izvestia of Higher educational institutions. Applied nonlinear dynamics]. - 2021. -Vol. 29. -No. 5. - pp. 751-764. DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-5-751-764 [in Russian]
8. Bazykin A.D. Nelinejnaja dinamika vzaimodejstvujushhikh populjacij [Nonlinear dynamics of interacting populations] / A. D. Bazykin. - Moscow-Izhevsk, Institute of Computer Research, 2003. 368 p. [in Russian]
9. Opekunova M.G. Monitoring izmenenija okruzhajushhejj sredy v zone vozdejstvija kombinata «Severonikel'». II Migracija i akumuljacija khimicheskikh ehlementov v pochvakh [Monitoring of environmental changes in the impact zone of the Severonikel Plant. II Migration and accumulation of chemical elements in soils] / M. G. Opekunova, E. Yu. Yelsukova, V. A. Chekushin, et al. // *Vestnik SPbGU* [Vestnik Of Saint Petersburg University. Series 7]. -2006. -Issue 3. - pp. 39-49 [in Russian]
10. Mukhacheva S.V. Khimicheskoe zagrjaznenie sredy: tjazhelye metally v pishhe melkikh mlekopitajushhikh [Chemical pollution of the environment: heavy metals in the food of small mammals] / S. V. Mukhacheva, V. S. Bezel // *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological Journal]. -2007. -Vol. 86. -No. 4. -pp.492-498 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.002>

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОЛЗУЧЕСТИ КРИВОЛИНЕЙНО-АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД МЕТОДОМ РУНГЕ—КУТТА—ФЕЛЬБЕРГА 5-6 ПОРЯДКА

Научная статья

Димитриенко Ю.И.¹, Юрин Ю.В.², Гумиргалiev Т.Р.³, Краснов Г.А.^{4,*}

⁴ ORCID: 0000-0002-4577-9922;

^{1, 2, 3, 4} Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (krasnov14107[at]mail.ru)

Аннотация

В данной работе предложен способ для предварительного анализа на состав и оценку динамики слоев горных пластов глубокого залегания, физических знаний о которых недостаточно или не может быть получено экспериментальным путем без этапа разработки и запуска скважин, рудников и карьеров. Данный способ основан на моделировании напряженно-деформированного состояния горных пород с учетом блочно-криволинейной анизотропии и ползучести. В работе предлагается метод для эффективного численного решения задачи напряженно-деформированного состояния с учетом блочно-криволинейной анизотропии и ползучести. Предлагается разработанное программное обеспечение на базе Научно-образовательного центра «Суперкомпьютерное инженерное моделирование и разработка программных комплексов» МГТУ им. Н.Э. Баумана для создания, описания, решения, анализа моделей грунта и других математических моделей.

Ключевые слова: горная порода, напряженно-деформированное состояние, уравнения ползучести, анизотропия, численные методы, метод конечных элементов.

SOLUTION TO THE PROBLEM OF CREEP OF CURVILINEAR-ANISOTROPIC MEDIA BY THE RUNGE-KUTTA-FEHLBERG METHOD OF 5-6 ORDER

Научная статья

Dimitrienko Yu.I.¹, Yurin Yu.V.², Gumirgaliev T.R.³, Krasnov G.A.^{4,*}

⁴ ORCID: 0000-0002-4577-9922;

^{1, 2, 3, 4} Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

* Corresponding author (krasnov14107[at]mail.ru)

Abstract

The article proposes a method for preliminary analysis of the composition and assessment of the dynamics of layers of deep-laying rock formations, physical knowledge of which is insufficient or cannot be obtained experimentally without the stage of development and launch of wells, mines and quarries. This method is based on modeling the stress-strain state of rocks taking into account block-curved anisotropy and creep. The paper proposes a method for an effective numerical solution of the stress-strain state problem taking into account block-curved anisotropy and creep. The developed software is offered on the basis of the Scientific and Educational Center "Supercomputer engineering modeling and development of software complexes" of the Bauman Moscow State Technical University to create, describe, solve, analyze soil models and other mathematical models.

Keywords: rock, stress-strain state, creep equations, anisotropy, numerical methods, finite element method.

Введение

В области поиска полезных ископаемых существует значительное количество проблем, связанных с предварительным моделированием и анализом местности, в которой проводятся геолого-разведывательные операции. Одной из самых значительных задач является расчет напряженно-деформированного состояния пород глубокого залегания, знание о которых быстрыми и экономически не затратными способами не может быть получено. Для работ, связанных с моделированием горных пород глубокого залегания требуется понимать характер и картину слоев грунта. Для этого проводится комплекс взрывных мероприятий с использованием тринитротоллуоловых шашек, которые помещаются на необходимые глубины под землю и полученные данные сейсморазведки заносятся в файл. Таких данных, порой, бывает достаточно для того, чтобы определить где стоит производить поисковые мероприятия по добыче полезных ископаемых, но существуют сложные разновидности рельефа и почвы, при которых однозначный ответ на поиск ископаемых дать нельзя. Для таких случаев используется процесс моделирования слоев горных пород, расчет напряженно-деформированного состояния слоев с целью определения состава и динамики этих пород, а также их анализ на предмет содержания веществ со свойствами нефти, газа, угля, прочих скоплений драгоценных материалов или со свойствами похожими на свойства перечисленных полезных ископаемых.

В работе создается геометрическая модель по данным 3-мерной сейсмической миграции. В полученной геометрии выделяются криволинейные блоки с помощью диаграммы Вороного. На полученной геометрии строится тетраэдральная сетка с квадратичной аппроксимацией. С помощью метода конечных элементов, решается задача НДС и находятся перемещения и напряжения, возникающие при давлении на блок горной породы с его граней.

Более подробную информацию по теме данной работы можно изучить в источниках [1], [16].

Концептуальная постановка задачи

Цель — Разработать или использовать существующие численные методы решения систем нелинейных алгебраических уравнений, а также решить задачу напряженно-деформированного состояния горных пород, разбитых на криволинейные кластеры с индивидуальными свойствами трансверсально-изотропного материала и ползучестью в

автоматизированном программном комплексе (далее АПК) программ GeoPhysicsCAD, SMCM, разработанных в НОЦ «СИМПЛЕКС» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Задачи:

1. Провести расчет напряженно-деформированного состояния горных пород с учетом блочно-криволинейной анизотропии и ползучести методом РКФ - 5б с адаптивным шагом;
2. Провести анализ результатов решения задачи НДС, определить напряженно-деформированную картину пластов горных пород и оценить их динамику, проанализировать прирост производительности в решении задачи НДС.

Математическая постановка задачи

Рассмотрим краевую трехмерную задачу с условием ползучести:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \rho \mathbf{f} = 0; \quad (1)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = {}^4\mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\varepsilon} - \boldsymbol{\varepsilon}^c - \boldsymbol{\varepsilon}^\theta; \quad (2)$$

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}^c = \mathbf{F} \boldsymbol{\varepsilon}^c, \boldsymbol{\sigma}; \quad (3)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \text{def } \mathbf{u} = \frac{1}{2} \nabla \otimes \mathbf{u} + \nabla \otimes \mathbf{u}^T; \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}^c_{\tau=0} = \mathbf{0}; \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{n}_{\Sigma_\sigma} = \mathbf{s}^e; \quad (6)$$

$$\mathbf{u}_{\Sigma_u} = \mathbf{u}^e, \quad (7)$$

где: (1) — уравнение равновесия сплошной среды; (2) — определяющие соотношения с учетом деформаций ползучести; (3) — соотношения для деформаций ползучести; (4) — соотношение Коши; (5) — начальное условие; (6), (7) — граничные условия; здесь использованы обозначения: ∇ — набла-оператор; $\boldsymbol{\sigma}$ — тензор напряжений; ρ — переменная плотность горной породы, зависящая от конкретного типа горной породы (известняк, песчаник, глина и т.п.); $\mathbf{f} = -g\mathbf{e}_z$ — вектор плотности силы тяжести; g — ускорение свободного падения; ${}^4\mathbf{C}$ — тензор модулей упругости; $\boldsymbol{\varepsilon}$ — тензор малых деформаций; $\boldsymbol{\varepsilon}^c$ — тензор деформаций ползучести; $\boldsymbol{\varepsilon}^\theta = \boldsymbol{\alpha} \boldsymbol{\theta} - \boldsymbol{\theta}_0$ — тензор тепловых деформаций; $\mathbf{F} \boldsymbol{\varepsilon}^c, \boldsymbol{\sigma}$ — дважды непрерывно дифференцируемая в некоторой области $G \subset \mathbb{R}^{12}$ тензорная функция, описывающая модель скоростей деформаций термоползучести; \mathbf{u} — вектор перемещений; \mathbf{u}^e — заданный вектор перемещений; \mathbf{n} — вектор внешней нормали; \mathbf{s}^e — заданный вектор напряжений на части поверхности тела Σ_σ ; \mathbf{e}_z — вектор базиса, ориентированный по направлению силы тяжести; $\boldsymbol{\alpha}$ — тензор температурного расширения; \otimes — тензорное произведение; \cdot — скалярное произведение.

Блочно-криволинейная анизотропия и ползучесть

Рассмотрим краевую трехмерную задачу (1)–(7).

Вектор напряжений \mathbf{s}^e на границе блока горной породы, задающий тектонические напряжения, представим линейно изменяющимся с глубиной горной породы:

$$\mathbf{s}^e = -az\mathbf{n} \quad (8)$$

где $a = 5 \cdot 10^4$ Па/м — экспериментальная константа, полученная по материалам из работы [5];

$z = x^3$ — вертикальная координата (глубина горной породы);

\mathbf{n} — вектор нормали к границе блока.

Слои горной породы будем считать анизотропными, а именно — трансверсально-изотропными.

Матрица коэффициентов податливости для трансверсально-изотропного тела:

$$\Phi = \begin{pmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & \Phi_{22} & \Phi_{23} & 0 & 0 & 0 \\ & & \Phi_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \Phi_{44} & 0 & 0 \\ & \text{сим.} & & & \Phi_{55} & 0 \\ & & & & & \Phi_{66} \end{pmatrix} \quad (9)$$

где $\Phi_{11} = \frac{1}{E_1}$, $\Phi_{12} = \frac{-\mu_1}{E_1}$, $\Phi_{13} = \frac{-\mu_2}{E_1}$, $\Phi_{22} = \frac{1}{E_1}$, $\Phi_{23} = \frac{-\mu_2}{E_1}$, $\Phi_{33} = \frac{1}{E_2}$, $\Phi_{44} = \frac{1}{G_1}$, $\Phi_{55} = \frac{1}{G_2}$,
 $\Phi_{66} = \frac{1}{G_2}$;

E_1 — модуль упругости в плоскости изотропии;

E_2 — модуль упругости в направлении, перпендикулярном плоскости изотропии;

$G_1 = E_1 / [2(1 + \mu_1)]$ — модуль сдвига в плоскости изотропии;

G_2 — модуль сдвига в плоскостях, перпендикулярных плоскости изотропии;

μ_1, μ_2 — коэффициенты Пуассона, характеризующие сокращения соответственно в плоскости изотропии и в направлении, перпендикулярном этой плоскости, при растяжении в плоскости изотропии [12].

В трансверсально-изотропном теле все направления в плоскости изотропии и направление, перпендикулярное этой плоскости, являются главными направлениями упругости. Поэтому для такого тела главные оси деформированного состояния совпадают с главными осями напряженного состояния, если одна из главных осей напряженного состояния перпендикулярна плоскости изотропии.

Рассмотрим тензоры модулей упругости C_{ijkl} . В самом общем случае тензоры C_{ijkl} и коэффициентов теплового расширения α_{ij} для анизотропного тела содержат 21 независимый коэффициент и 6 независимых коэффициентов, которые могут быть представлены в виде матриц:

$$C_{ijkl} = \begin{pmatrix} C_{1111} & C_{1122} & C_{1133} & C_{1123} & C_{1131} & C_{1112} \\ C_{1122} & C_{2222} & C_{2233} & C_{2223} & C_{2231} & C_{2212} \\ C_{1133} & C_{2233} & C_{3333} & C_{3323} & C_{3331} & C_{3312} \\ C_{1123} & C_{2223} & C_{3323} & C_{2323} & C_{2331} & C_{2312} \\ C_{1131} & C_{2231} & C_{3331} & C_{2331} & C_{3131} & C_{3112} \\ C_{1112} & C_{2212} & C_{3312} & C_{2312} & C_{3112} & C_{1212} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$\alpha_{ij} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & \alpha_{33} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Симметричный тензор модулей упругости C_{ijkl} для трансверсально-изотропного тела с плоскостью симметрии свойств X_1X_2 выглядит следующим образом:

$$C = \begin{pmatrix} C_{1111} & C_{1122} & C_{1133} & 0 & 0 & 0 \\ C_{1122} & C_{2222} & C_{2233} & 0 & 0 & 0 \\ C_{1133} & C_{2233} & C_{3333} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{2323} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{3131} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{1111} - C_{1122}) \end{pmatrix} \quad (12)$$

Матрица коэффициентов теплового расширения α_{ij} для трансверсально изотропного тела:

$$\alpha_{ij} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{33} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Выражениями (12), (13) представлен материал с гексагональной симметрией, в которой свойства тела не зависят от поворота системы вокруг оси X , то есть при следующем преобразовании координат: $X'_1 = X_1 \cos \Theta + X_2 \sin \Theta$, $X'_2 = X_1 \sin \Theta + X_2 \cos \Theta$, $X'_3 = X_3$.

Трансверсально-изотропный материал обладает пятью независимыми константами для тензора C_{ijkl} (см. (12)) и двумя константами для тензора α_{ij} (см. (13)) [7].

Горная порода, исследуемая в работе, в рамках компьютерной 3D-модели была разделена на шесть типов областей, которые на основании информации об их продольных и поперечных скоростях звука были классифицированы как:

- 1) сланец песчанистый;
- 2) известняк;
- 3) песчаник крупнозернистый;
- 4) песчаник мелкозернистый;
- 5) алевролит;
- 6) галит.

Свойства материалов, рассматриваемых в работе, приведены в таблице 1. Свойства одинаковые в плоскости, параллельной плоскости изотропии C_1, C_2 .

Таблица была составлена, используя источники [2], [5], [6], [7], [9], [13] и др.

Таблица 1 – Физико-химические свойства горных пород при условии трансверсальной изотропии

	E, ГПа		$\sigma_{сж}$, МПа		μ		G, ГПа	
		⊥		⊥		⊥		⊥
Сланцы песчанистые	30,3	24,2	52	70	0,25	0,16	12,12	10,43103448
Известняки	63,6	72,5	151	152	0,28	0,30	24,84375	27,88461538
Песчаники крупнозернистые	19,3	17,3	118	142	0,45	0,36	6,655172414	6,360294118
Песчаники мелкозернистые	38,3	26,4	160	157	0,20	0,19	15,958333333	11,09243697
Алевролиты	26,7	17,2	51	68	0,25	0,29	10,68	6,66666667
Галит	55,45	62,75	30	32	0,2955607477	0,2964876033	21,4	24,2

$$E_1 = E_2 = E_{||}; E_3 = E_{\perp}; \mu_{12} = \mu_{23} = \mu_{||}; \mu_{13} = \mu_{\perp}; G_{12} = G_{23} = G_{||}; G_{13} = G_{\perp};$$

где $E_{||}, E_{\perp}$ — модули упругости Юнга природного массива в плоскости изотропии (напластования) и по нормали к плоскости изотропии (напластования) соответственно;

$\mu_{||}, \mu_{\perp}$ — коэффициенты Пуассона при деформировании в плоскости напластования и по нормали к плоскости напластования соответственно;

$\sigma_{сж||}, \sigma_{сж\perp}$ — значения максимальных напряжений при максимальном сжатии при деформировании в плоскости напластования и по нормали к плоскости напластования соответственно;

$G_{||}, G_{\perp}$ — значения модулей сдвига при деформировании в плоскости напластования и по нормали к плоскости напластования соответственно [14].

Явный метод Рунге — Кутты — Фельберга 5-6 порядка

При интегрировании данным методом на каждом шаге рассчитываются 7 промежуточных точек – в нашем случае решается 7 задач на нахождение тензоров деформаций ϵ и напряжений σ . Реализация метода предполагает построение неравенства для контроля точности вычислений, которое при правильном выборе погрешности не приводит к дополнительным вычислительным затратам.

Для системы дифференциальных уравнений:

$$y'_i = f_i(x, y_1, y_2, \dots, y_k) \quad (14)$$

$$y_i - x_0 = y_i^0 \quad (15)$$

$$i = \overline{1, k} \quad (16)$$

Значение пятого порядка точности вычисляется как взвешенная комбинация величин K_i :

$$y_{n+1} = y_n + \sum_{i=1}^6 \gamma_i K_i \quad (17)$$

Для нахождения нового значения неизвестной функции y_{n+1} последовательно вычисляются величины:

$$K_i = h_n f(t_n + \alpha_i h_n, y_n + \sum_{j=1}^{i-1} \beta_{i,j} K_j) \quad (18)$$

$$i = \overline{1, 6} \quad (19)$$

На практике вычисляют решение пятого порядка и оценку погрешности:

$$\Delta_{n+1} = \sum_{i=1}^6 \gamma_i^* - \gamma_i \cdot K_i \quad (20)$$

Для начального шага $m=0$ на основе начального условия $\varepsilon^c|_{\tau=0} = 0$ имеем следующую систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \sigma^{e0} + \rho f = -\nabla \cdot \sigma^\theta, \\ \sigma^{e0} = {}^4C \cdot \varepsilon^0, \\ \dot{\varepsilon}^c = F \varepsilon^c \cdot \sigma, \\ \varepsilon^0 = \text{def } \mathbf{u}^0, \\ \sigma^{e0} \cdot \mathbf{n}|_{\Sigma_\sigma} = \mathbf{S}_b^0 - \sigma^\theta \cdot \mathbf{n}|_{\Sigma_\sigma}, \\ \mathbf{u}^0|_{\Sigma_\sigma} = \mathbf{u}_b^0. \end{array} \right. \quad (21)$$

Для тензоров ε и σ на начальном шаге, учитывая условие (21), имеем:

$$\varepsilon^{c0} = 0 \quad (22)$$

$$\sigma^0 = \sigma^{e0} + \sigma^\theta \quad (23)$$

Далее на m -ом шаге $m \in \mathbb{N}_{N+1}$ имеем следующую процедуру для численного метода:

1. Вычисление тензоров деформаций и напряжений ползучести:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon^{cm} = \varepsilon^{c^{m-1}} + \sum_{i=1}^6 \gamma_i K_i \Delta \tau_m F \sigma^{m-1}; \\ \sigma^{cm} = -{}^4C \cdot \varepsilon^{cm}. \end{array} \right. \quad (24)$$

2. Решение краевой задачи:

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \sigma^{em} + \rho f = -\nabla \cdot (\sigma^{cm} + \sigma^\theta), \\ \sigma^{em} = {}^4C \cdot \varepsilon^m, \\ \varepsilon^m = \text{def } \mathbf{u}^m, \\ \sigma^{em} \cdot \mathbf{n}|_{\Sigma_\sigma} = \mathbf{S}_b^m - (\sigma^{cm} + \sigma^\theta) \cdot \mathbf{n}|_{\Sigma_\sigma}, \\ \mathbf{u}^m|_{\Sigma_u} = \mathbf{u}_b^m. \end{array} \right. \quad (25)$$

3. Вычисление тензора напряжений:

$$\sigma^m = \sigma^{em} + \sigma^{cm} + \sigma^\theta \quad (26)$$

При выборе допустимой погрешности метода следует учесть вероятность непредсказуемого возрастания накопленной ошибки. Точность можно увеличить с помощью специальных способов отображения чисел в памяти компьютера. Следует заметить, что данный алгоритм считается одним из лучших среди методов типа Рунге — Кутты 6-го порядка точности [3].

Значения всех коэффициентов приведены в таблице 2:

Таблица 2 – Значения коэффициентов в формулах (23) – (26)

α_i		$\beta_{i,j}$		γ_i		γ_i^*
0						$\frac{16}{135}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$					0
$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{9}{32}$				$\frac{6656}{12825}$
$\frac{12}{13}$	$\frac{1932}{2197}$	$-\frac{7200}{2197}$	$\frac{7296}{2197}$			$\frac{28561}{56430}$
1	$\frac{439}{216}$	-8	$\frac{3680}{513}$	$-\frac{845}{4104}$		$-\frac{9}{50}$
$\frac{1}{2}$	$-\frac{8}{27}$	2	$-\frac{3544}{2565}$	$\frac{1859}{4104}$	$-\frac{11}{40}$	$\frac{2}{55}$

Сравнительный анализ результатов при решении задачи НДС балки аналитически, явным методом Эйлера и методом РКФ – 5-6

На рисунке 1 приведены графики, показывающие как значение компоненты ϵ_{11} тензора деформаций ϵ изменяется от количества временных шагов. Видно, что численное решение методом Рунге — Кутты — Фельберга 5-6 порядка располагается ближе к аналитическому решению, чем решение методом Эйлера.

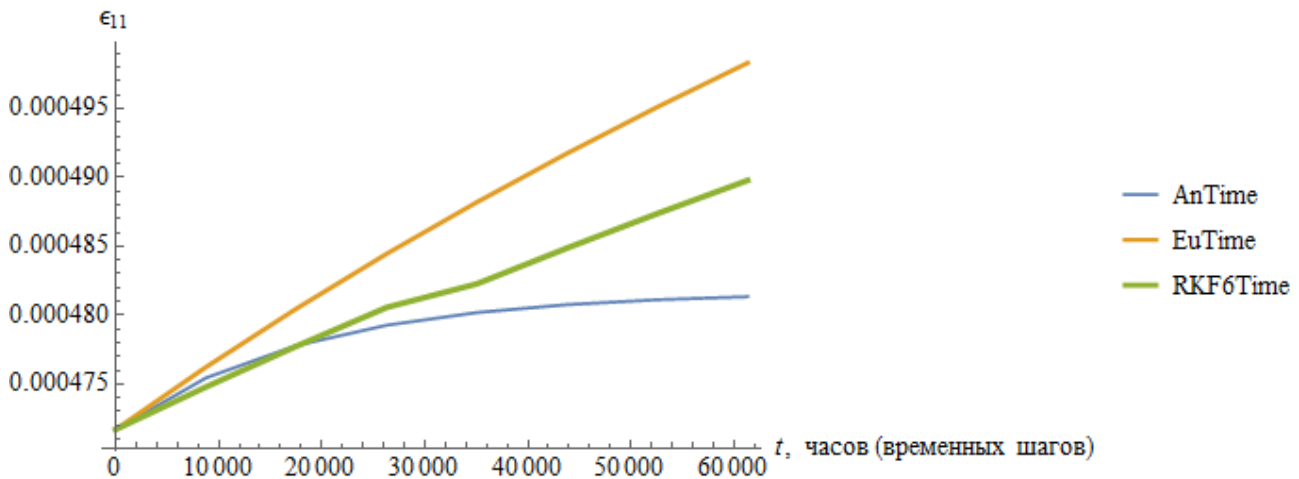


Рис. 1 – Аналитическое решение, метод Эйлера и метод РКФ-56. Сравнительный анализ

Функция ползучести горных пород

$\mathbf{F} \epsilon^c, \sigma$ – дважды непрерывно дифференцируемая в некоторой области $G \subset \mathbb{R}^{12}$ тензорная функция, описывающая модель скоростей деформаций термоползучести.

$\mathbf{F} \epsilon^c, \sigma$: Модель Бюргера:

$$\epsilon = \sigma_0 \left[\frac{1}{\gamma_M} + \frac{1}{\eta_M} + \frac{1}{\gamma_V} \left(1 - \exp \left\{ -\frac{\gamma_V}{\eta_V} t \right\} \right) \right] \quad (27)$$

где γ и η — модуль упругости и коэффициенты вязкости; индексы M и V относятся к моделям Максвелла и Войта.

Пока t мало, это уравнение может выражать *первичную ползучесть* (или переходную ползучесть). При $t=0$ это уравнение выражает упругую деформацию в виде $\varepsilon = \frac{\sigma_0}{\gamma_M}$, а при $t = \infty$ оно представляет *вторичную ползучесть* (равномерная ползучесть) с постоянной скоростью деформации, задаваемой $\dot{\varepsilon} = \frac{\sigma_0}{\eta_M}$ [5].

На рисунке 2 представлен график кривых ползучести.

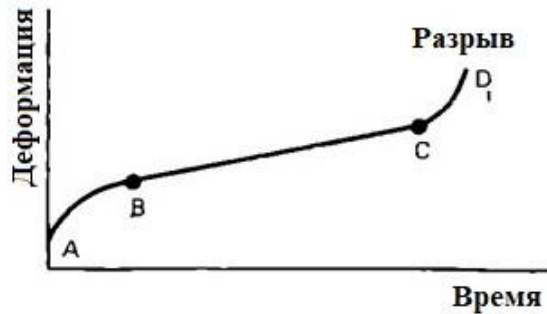


Рис. 2 — Кривые ползучести:
 АВ — первичной; ВС — вторичной; CD — третичной

Метод конечных элементов для решения задачи НДС горных пород

Рассмотрим краевую задачу (1) — (7) и тензор напряжений σ (1), где $\mathbf{u}_b^> \in L_2 \Sigma_u$, $\mathbf{S}_b^> \in L_2 \Sigma_\sigma$.

Предполагаем, что тензор модулей упругости ${}^4\mathbf{C}$ удовлетворяет условию положительной определенности — для всякого симметричного тензора второго ранга ε справедливо неравенство:

$$\gamma > 0 \quad \varepsilon \cdot \cdot {}^4\mathbf{C} \cdot \cdot \varepsilon \geq \gamma \varepsilon \cdot \cdot \varepsilon \tag{28}$$

Производим переход к матричной записи задачи. Для этого записываем компоненты соответствующих тензоров и векторов в декартовых координатах:

$$f = f_1, f_2, f_3 \text{ }^T \in \text{}^>\mathbb{R}^3, f = \mathbf{u}_s^>, \mathbf{u}_b^>, \mathbf{S}_b^>, \mathbf{v} \tag{29}$$

$$\sigma_s^e = \sigma_{s11}^e, \sigma_{s22}^e, \sigma_{s33}^e, \sigma_{s12}^e, \sigma_{s13}^e, \sigma_{s23}^e \text{ }^T \in \text{}^>\mathbb{R}^6 \tag{30}$$

$$f = f_{11}, f_{22}, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{23} \text{ }^T \in \text{}^>\mathbb{R}^6, f = \sigma_s^e, \varepsilon_s^e \tag{31}$$

$$\varepsilon_s^e = \varepsilon_{s11}, \varepsilon_{s22}, \varepsilon_{s33}, 2\varepsilon_{s12}, 2\varepsilon_{s13}, 2\varepsilon_{s23} \text{ }^T \in \text{}^>\mathbb{R}^6 \tag{32}$$

где $\text{}^>\mathbb{R}^6$ — пространство столбцов размерности $n = 6$.

Также введем матрицу дифференциальных операторов \mathbf{D} и матрицу модулей упругости $\mathbf{C} \in L \mathbb{R}, 6, 6$ [16]:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} \partial_1 & & & & & \\ & \partial_2 & & & & \\ & & \partial_3 & & & \\ \partial_2 & \partial_1 & & & & \\ \partial_3 & & \partial_1 & & & \\ & \partial_3 & \partial_2 & & & \end{pmatrix} \tag{33}$$

$$C = \begin{pmatrix} C_{1111} & C_{1122} & C_{1133} & 0 & 0 & 0 \\ C_{1122} & C_{2222} & C_{2233} & 0 & 0 & 0 \\ C_{1133} & C_{2233} & C_{3333} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{2323} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{3131} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{1212} \end{pmatrix} \quad (34)$$

$f_k = f_{K1}^1, f_{K2}^1, f_{K3}^1, \dots, f_{K1}^{10}, f_{K2}^{10}, f_{K3}^{10}{}^T$ — значения вектор-функции f_h в узлах тетраэдра $K \in T_h$.

Матрица Φ_K имеет блочный вид:

$$\Phi_K \mathbf{x} = \Phi_{11}, \Phi_{22}, \Phi_{33}, \Phi_{44}, \Phi_{12}, \Phi_{13}, \Phi_{14}, \Phi_{23}, \Phi_{24}, \Phi_{34} \quad (35)$$

$$\Phi_{ij} \mathbf{x} = N_{ij} \mathbf{x} E \quad (36)$$

$$N_{ij} \mathbf{x} = \begin{cases} L_i \mathbf{x} & 2L_i \mathbf{x} - 1, i = j; \\ 4L_i \mathbf{x} & L_j \mathbf{x}, i \neq j, \end{cases} \quad (37)$$

где $E \in L \mathbb{R}, 3,3$ — единичная матрица;

$L_i \mathbf{x}$ — барицентрические координаты в тетраэдре $K \in T_h$, построенные по его вершинам, $i, j \in \mathbb{N}_3$ [15].

Преобразуя интегральное соотношение (33) с учетом (34), (35), (36) и (37), и, раскладывая каждый из интегралов этого соотношения по всей области Ω_h на интегралы по конечным элементам, получим:

$$\sum_{K \in T_h} v_K \mathbf{T} [A_K \mathbf{u}_s^K - f_K] = 0 \quad (38)$$

$$A_K = \int_K B_K^T C B_K dV \quad (39)$$

$$f_K = \int_{\partial K \cap \Sigma_{oh}} \Phi_K^T \mathbf{S}_b^> d\Sigma + \int_K B_K^T C dV, B_K \mathbf{x} \quad (40)$$

$$f_K = D \Phi_K \mathbf{x} \quad (41)$$

Приходим к разрешающей СЛАУ схемы МКЭ:

$$A^G \mathbf{u}_s^{>G} = f^G \quad (42)$$

где A^G — матрица, $A^G \in L \mathbb{R}, N - q, N - q$, где q — номера столбцов, которые исключены из матрицы;

f^G — значения переменного давления (в данной задаче — давления на стенки блока горной породы), $f^G \in \mathbb{R}^{N-p}$, где p — номера строк, которые исключены из столбца;

$\mathbf{u}_s^{>G}$ — решение СЛАУ (42).

Сетка из конечных элементов (далее КЭ) содержит в себе 1875293 тетраэдров и 328847 узлов. Каждый тетраэдр рассматривается с квадратичной аппроксимацией — десятиузловой тетраэдр.

Результаты численного моделирования

На данном рисунке представлены диаграммы компонент тензора напряжений σ_s кластеров горной породы и видна динамика изменений компонент напряжений в зависимости от направления осей ортонормированных базисов анизотропии.

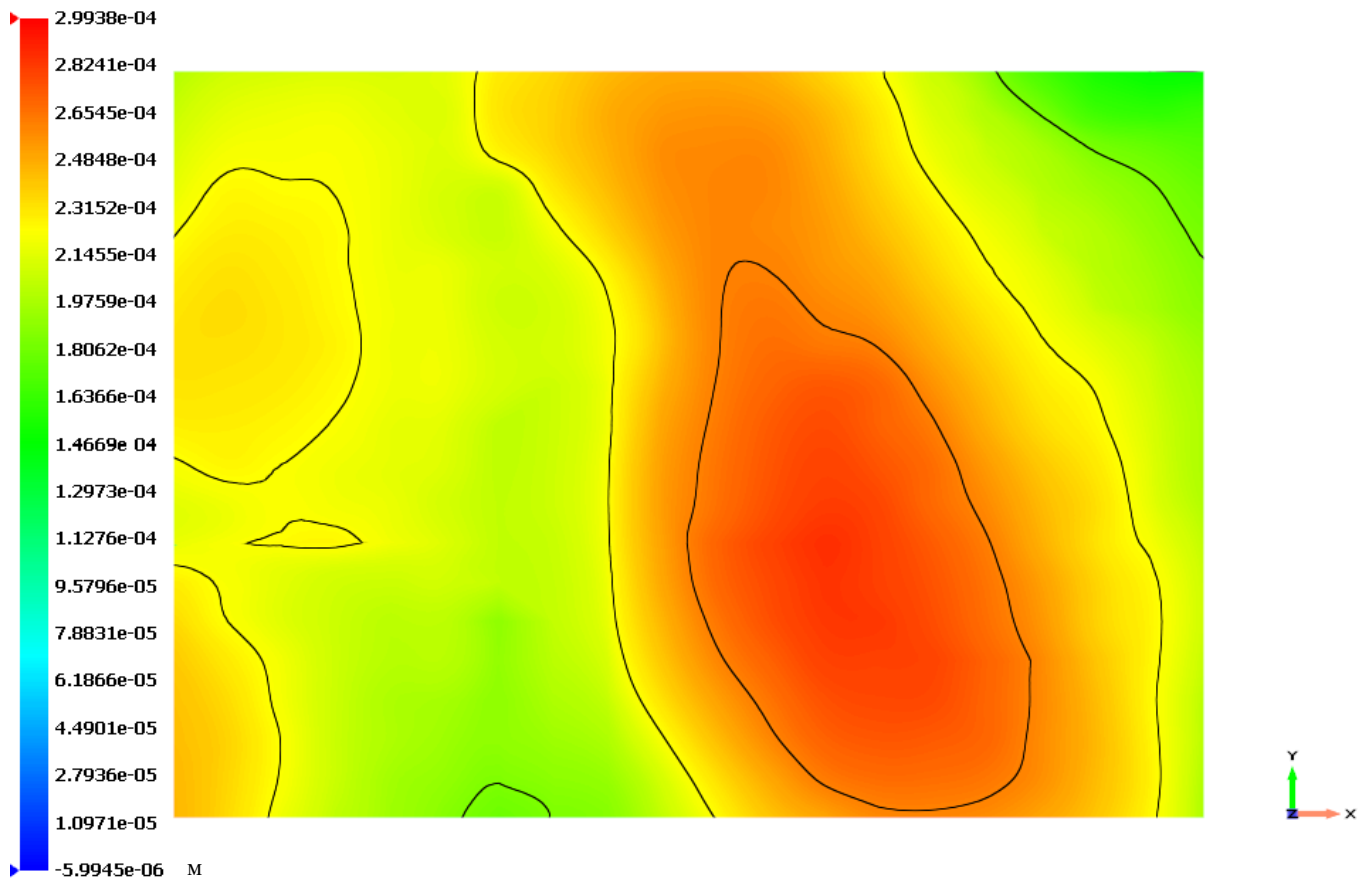


Рис. 3 – 3D Диаграмма перемещений по оси OZ на верхней поверхности

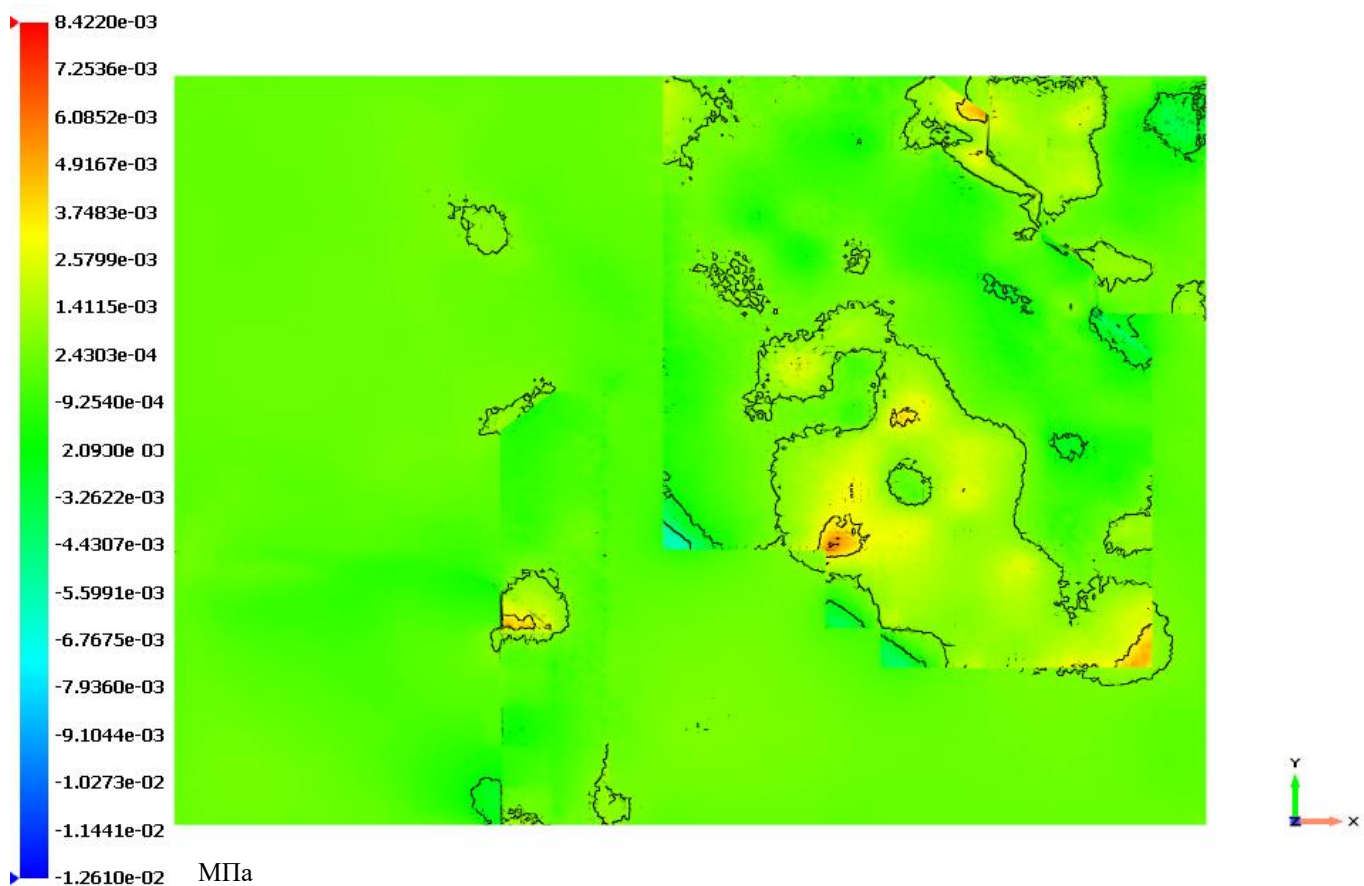


Рис. 4 – 3D Диаграмма сдвиговых напряжений в плоскости XY в собственной СК на верхней поверхности

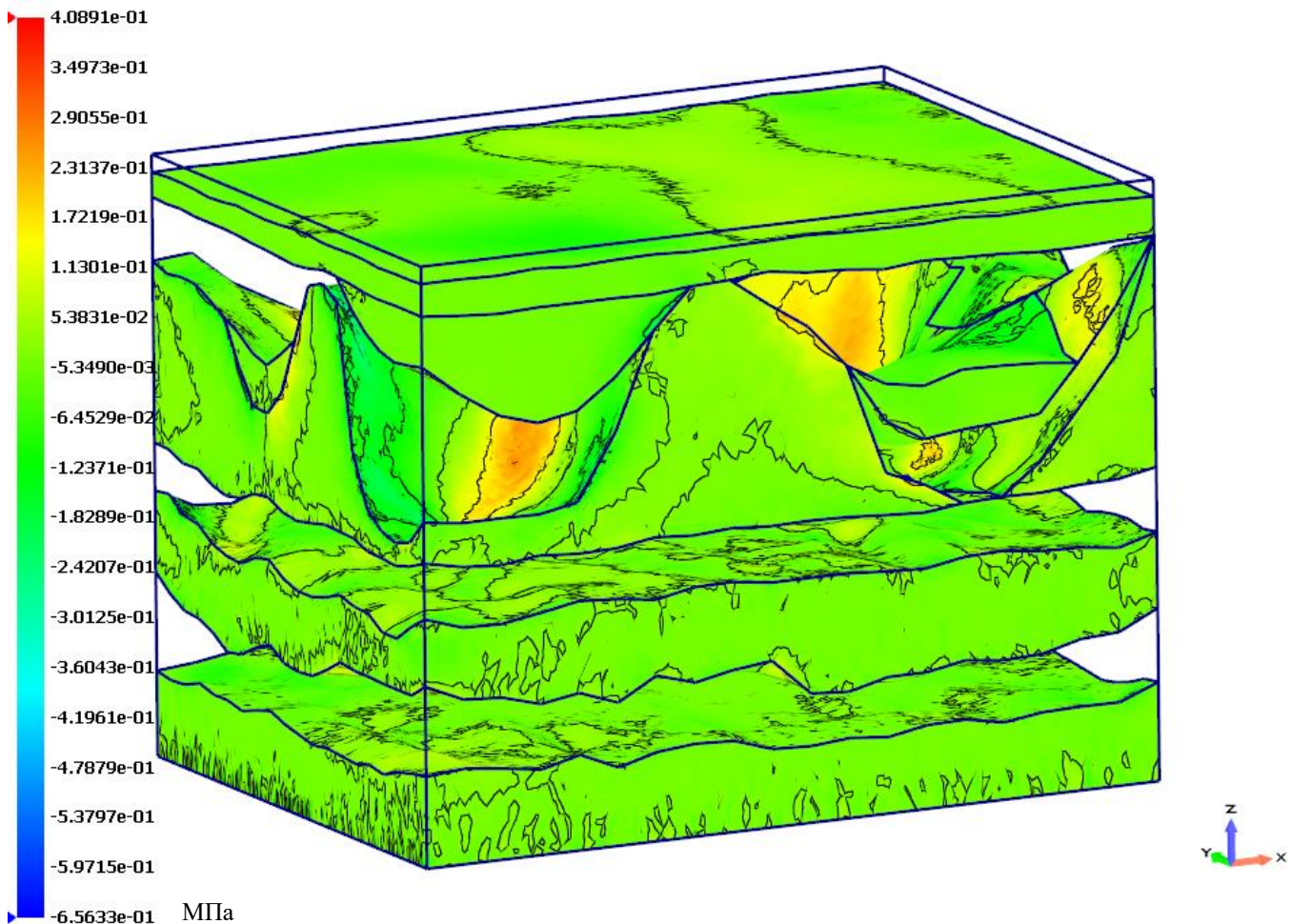


Рис. 5 – 3D Диаграмма сдвиговых напряжений в плоскости XY в собственной СК

Заключение

Можно сказать, что, применяя метод РКФ-56 порядка, получилось добиться ускорения решения задачи НДС на 29% для достижения необходимой точности решения, а также уменьшения количества итераций алгоритма в 3.2 раза. Следует заметить, что при решении данной задачи устанавливается условие для точности решения и количество временных шагов формируется для каждого численного алгоритма автоматически исходя из этого условия – с какой невязкой будет решаться задача, если она устойчива и обладает всеми необходимыми начальными и граничными условиями для решения.

На рисунках 3 – 5 представлены диаграммы НДС горной породы, по которым можно сказать как перемещаются пласты породы в зависимости от действующих на них сил и давлений с течением времени, другими словами, оценить динамику и характер напластования горных слоев.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Dimitrienko Yu I Creep Deformations of Curvilinear Anisotropic Media: Finite Element Modeling / Yu I Dimitrienko, Yu V Yurin, T R Gumirgaliev et al. // IOP Journal of Physics: Conference Series 1990, 2021. – 8 p.
2. Димитриенко Ю.И. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформируемого состояния горных пород с учетом ползучести / Ю.И. Димитриенко, Ю.В. Юрин // Математическое моделирование и численные методы. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, №3, с. 101 –118
3. Корягин С.В. Сравнительный анализ методов интегрирования с плавающим шагом / С.В. Корягин, А.А. Яковлев. – М.: Cloud of Science, 2016, Т.3, №1, – с. 95 – 103
4. Димитриенко Ю.И. Универсальные законы механики и электродинамики сплошных сред / Ю.И. Димитриенко. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 560 с.
5. Гзовский М.В. Основы тектонофизики / М.В. Гзовский. – М.: НАУКА, 1975. – 537 с.
6. Ташкинов А.А. Упругость анизотропных материалов. Конспект лекций / А.А. Ташкинов. – 2010. – 49 с.
7. Димитриенко Ю.И. Механика сплошной среды. В 4 т. Т. 4: Основы механики твердого тела / Ю.И. Димитриенко. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 624 с;
8. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: МИР, 1986. – 320 с.
9. Ребецкий Ю.Л. Механизм генерации остаточных напряжений и больших горизонтальных сжимающих напряжений в земной коре внутриплитовых орогенов. Проблемы тектонофизики / Ю.Л. Ребецкий. – М.: ИФЗ РАН, 2008. – с. 431 – 466.

10. Скворцов Ю.В. Механика композиционных материалов / Ю.В. Скворцов. – С.: СГАУ им. ак. С.П. Королёва, 2013. – 94 с.
11. Карабцев С.Н. Построение диаграммы Вороного и определение границ области в методе естественных соседей / С.Н. Карабцев, С.В. Стуколов. – К.: ИВТ Сибирского отделения РАН, 2008, №3, с. 65 – 80.
12. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. – М.: Изд. Техничко-теоретической литературы, 1950. – 300 с.
13. Aptukov V. N. Nano-range mechanical characteristics of carnallite, spathic salt and sylvite / V N Aptukov , V Yu Mitin, N E Moloshtanova et al. // Journal of Mining Science 49(3), 2013. – P. 382–387.
14. Баклашов И.В. Геомеханика том 2. Геомеханические процессы / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия, А.Н. Шашенко, В.Н. Борисов. – М.: Изд. МГТУ, 2004. – 249 с.
15. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М.: МИР, 1979. – 390 с.
16. Dimitrienko Yu. I. Universal models for effective constitutive relations of laminated composites with finite strains / Yu.I. Dimitrienko, E.A. Gubareva, S.B. Karimov et al. // IOP Journal of Physics: Conference Series 1141(1), 2018. – P. 72–93.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dimitrienko Yu I Konechno-jelementnoe modelirovanie deformacij polzuchesti krivoliniy-anizotropnyh sred [Creep Deformations of Curvilinear Anisotropic Media: Finite Element Modeling] / Yu I Dimitrienko, Yu V Yurin, T R Gumirgaliev et al. // IOP Journal of Physics: Conference Series 1990, 2021. – 8 p.
2. Dimitrienko Yu I Konechno-jelementnoe modelirovanie naprjazhenno-deformiruemogo sostojanija gornyh porod s uchetom polzuchesti [Finite element modeling of the intense deformed condition of rocks taking into account creep] / Yu I Dimitrienko, Yu V Yurin. // Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody [Mathematical modeling and Computational methods]. 3, 2015. – P. 101–118. [in Russian]
3. Koryagin S V Sravnitel'nyj analiz metodov integrirovaniya s plavajushhim shagom [Comparative analysis of integration methods with a floating step] / S V Koryagin, A A Yakovlev // Cloud of science 3(1), 2016. – P. 95–103. [in Russian]
4. Dimitrienko Yu I Universal'nye zakony mehaniki i jelektrodinamiki sploshnyh sred [Universal laws of mechanics and electrodynamics of continuous media] / Yu I Dimitrienko. – M: Bauman Moscow State Technical University Publ, 2011. – 560 p. [in Russian]
5. Gzovsky M V Osnovy tektonofiziki [Fundamentals of tectonophysics] / M V Gzovsky. – M: SCIENCE Publ., 1975. – 537 p. [in Russian]
6. Tashkinov A A Uprugost' anizotropnyh materialov. Konspekt lekcij [Elasticity of anisotropic materials (Lecture)] / A A Tashkinov. – 2010. – 49 p. [in Russian]
7. Dimitrienko Yu I Mehanika sploshnoj sredy : Osnovy mehaniki tverdogo tela [Continuum mechanics vol. 4. Fundamentals of solid mechanics] / Yu I Dimitrienko. – M: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2013. – 624 p. [in Russian]
8. Zenkevich O Konechnye jelementy i approksimacija [Finite elements and approximation] / O Zenkevich, K Morgan. – Moscow: MIR Publ., 1986. – 320 p. [in Russian]
9. Rebetsky Yu L Mehanizm generacii ostatochnyh naprjazhenij i bol'shih gorizont'al'nyh szhimajushhih naprjazhenij v zemnoj kore vnutriplitovyh orogenov. Problemy tektonofiziki [The mechanism of generation of residual stresses and large horizontal compressive stresses in the earth's crust of intraplate orogens. Problems of tectonophysics] / Yu L Rebetsky. – Moscow: IPE RAS., 2008. – P. 431–466. [in Russian]
10. Skvortsov Yu V Mehanika kompozicionnyh materialov [Mechanics of composite materials] / Yu V Skvortsov. –Samara: SGAU im. ac. S P Koroleva Publ., 2013. – 94 p. [in Russian]
11. Karabtsev S N Postroenie diagrammy Voronogo i opredelenie granic oblasti v metode estestvennyh соседей [Construction of a Voronoi diagram and determination of the boundaries of the region in the method of natural neighbors] / S N Karabtsev, S V Stukolov. –Novosibirsk: ICT SB RAS Publ. 3, 2008. – P. 65–80. [in Russian]
12. Lekhnitskiy S G Teorija uprugosti anizotropnogo tela [The theory of elasticity of an anisotropic body] / S G Lekhnitskiy. –Moscow: Techno-theoretical literature Publ., 1950. – 300 p. [in Russian]
13. Aptukov V. N. Nano-range mechanical characteristics of carnallite, spathic salt and sylvite / V N Aptukov , V Yu Mitin, N E Moloshtanova et al. // Journal of Mining Science 49(3), 2013. – P. 382–387.
14. Baklashov I V Geomehanika. Geomehanicheskie processy [Geomechanics vol. 2. Geomechanical processes] / I V Baklashov, B A Kartozia, A N Shashenko et al. –Moscow: MGGU Publ., 2004. – 249 p. [in Russian]
15. Segerlind L Primenenie metoda konechnyh jelementov [Application of the finite element method] / L Segerlind. – Moscow: MIR Publ., 1979. – 390 p. [in Russian]
16. Dimitrienko Yu. I. Universal models for effective constitutive relations of laminated composites with finite strains / Yu.I. Dimitrienko, E.A. Gubareva, S.B. Karimov et al. // IOP Journal of Physics: Conference Series 1141(1), 2018. – P. 72–93.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.003>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЖИМКИ *VACCINIUM VITIS-IDAEAE* L.
В ТЕХНОЛОГИИ КОТЛЕТ ДЛЯ ГАМБУРГЕРОВ

Научная статья

Битуева Э.Б.^{1,*}, Анцупова Т.П.², Павлова Е.П.³^{1,2,3} Восточно-Сибирский государственный университет технологии и управления, Улан-Удэ, Россия

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

Аннотация

В статье рассмотрены возможности использования восстановленного жомом брусники (*Vaccinium vitis-idaeae* L.) в мясных системах для повышения пищевой и биологической ценности котлет для гамбургеров. Изучен химический состав выжимки. Исследовали разные композиции котлет для гамбургера с заменой мясного сырья (10, 15, 20 и 25 %). При исследовании органолептических свойств установлено, что в сырых композициях регламентирующим являлся показатель консистенции, в готовых образцах - вкусовые характеристики. В результате выполнения работы оптимальным был выбран вариант замены мясного смешанного фарша на 15 % выжимкой *Vaccinium vitis-idaeae*. В готовой котлете определены содержания пектиновых веществ ($2,06 \pm 0,01\%$), флавоноидов ($264,38 \pm 10,65$ мг/100 г), антоцианов ($582,79 \pm 11,51$ мг/100г), аскорбиновой кислоты ($2,14 \pm 0,09$), бензойной кислоты ($0,15 \pm 0,01$).

Ключевые слова: выжимка, котлета, *Vaccinium vitis-idaeae*, гамбургер, биологически активные вещества.

THE USE OF THE *VACCINIUM VITIS-IDAEAE* L. POMACE IN HAMBURGER PATTY PRODUCTION

Research article

Bitueva E.B.^{1,*}, Antsupova T.P.², Pavlova E.P.³

East Siberia State University of Technology and Management; Ulan-Ude, Russia

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

Abstract

The article discusses the possibilities of using reconstituted cranberry pulp (*Vaccinium vitis-idaeae* L.) in meat systems to increase the nutritional and biological value of hamburger patties. The authors study the chemical composition of the pomace as well as different compositions of hamburger patties with the replacement of meat raw materials (10, 15, 20 and 25%). In the course of examining the organoleptic properties, it was found that in raw compositions the regulating factor was the consistency index, while in the finished samples, it was taste characteristics. As a result of the study, the optimal option was to replace mixed minced meat by 15% with the *Vaccinium vitis-idaeae* pomace. The finished patty contains pectin substances ($2.06 \pm 0.01\%$), flavonoids (264.38 ± 10.65 mg/100 g), anthocyanins (582.79 ± 11.51 mg/100 g), ascorbic acid (2.14 ± 0.09), benzoic acid (0.15 ± 0.01).

Keywords: pomace, patty, *Vaccinium vitis-idaeae*, hamburger, biologically active substances.

Введение

Мясные полуфабрикаты (котлеты, гамбургеры) широко известны во всем мире благодаря простоте приготовления и потребления с точки зрения затрачиваемого времени, а также их пищевой ценности. Однако, несмотря на это, мясные продукты имеют высокое содержание воды и низкий уровень антиоксидантных соединений, следовательно, они склонны к окислению липидов. Хорошо известно, что процессы окисления пищевых продуктов могут способствовать разложению жирорастворимых витаминов и незаменимых жирных кислот, а также генерировать потенциально вредные соединения. Более того, мясные котлеты окисляются быстрее, чем целые куски, поскольку измельчение разрушает мышечные мембраны, высвобождая соединения, которые способствуют реакциям между прооксидантными молекулами и ненасыщенными соединениями. Следовательно, эти изменения органолептических свойств могут привести к сокращению срока годности, неудовлетворенности потребителей и отказу от продукта [1].

В качестве антиоксидантов используются растительное сырье и отходы его переработки. Внимание привлекают ягоды, они являются источником макро- и микронутриентов: сахаров, органических кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, фенольных соединений, пектиновых и дубильных веществ. Благодаря своему составу, дикорастущие ягоды улучшают пищеварение, сердечно – сосудистую деятельность, нервно – эмоциональное состояние человека. Помимо природного растительного сырья интерес представляют и отходы производства соков. С учетом соотношения и качественного состава белков, жиров и углеводов, продукты первичной переработки дикорастущих за редким исключением не могут расцениваться как готовые продукты функционального назначения. Вместе с тем, состав физиологически функциональных ингредиентов делает целесообразной промышленную переработку большинства видов дикорастущего сырья именно в плане производства широкого спектра продуктов функционального назначения.

В настоящее время в технологии мясных продуктов в качестве антиокислителей используются выжимки ягод, растительные экстракты на водной и спиртовой основе [2], [3], [13], [14]. Использование растительного сырья в мясной системе позволяет удлинить сроки хранения за счет ингибирования окисления жиров. Так, использование порошка финиковых косточек в качестве заменителя жира и антиоксиданта положительно влияет на качество гамбургеров с говядиной. Была проведена замена 25, 50 и 75 % животного жира на порошок из фиников. Результаты показали, что добавление порошка косточек фиников приводит к улучшению пищевой ценности гамбургеров и их органолептических свойств [15].

Однако, ассортимент пищевых продуктов, обогащенных вторичным ягодным сырьем, не так широк. Поэтому изучение природных источников физиологически активных веществ в качестве ингредиента мясных систем является актуальным.

Целью исследования являлось повышение биологической ценности мясной системы за счет внесения природных источников физиологически активных веществ, обладающих антиокислительными свойствами.

Основная часть

В качестве источника биологически активных веществ в работе использовали выжимки брусники, произрастающей в Забайкалье. Известно, что бруснику называют «суперфрукт» с самым высоким содержанием антиоксидантов среди ягод и широким спектром полезных для здоровья свойств. Радикальный потенциал поглощения кислорода брусники составляет 20300 мкмоль на 100 г. Гликемический и инсулиновый индексы ягоды равны 25, то есть имеют низкие значения, следовательно, глюкоза постепенно высвобождается в организме человека. Брусника содержит полифенольные соединения, для которых характерна многосторонность действия, они оказывают спазмолитическое действие, в том числе на сосуды и сердце и головного мозга, увеличивают упругость кровеносных капилляров и нормализуют их нарушенную проницаемость, положительно влияя на обменные процессы в миокарде, обладая антиаритмическим действием, то есть обладают Р – витаминным действием [16], [17].

Был изучен химический состав жом брусники, данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав жома брусники

Исследуемые показатели	Жом
Массовая доля влаги, %	9,43±0,75
Массовая доля сахаров, %	4,21±0,10
Массовая доля клетчатки, %	56,5±3,63
Массовая доля пектиновых веществ, %	0,526±0,02
Массовая доля экстрактивных веществ, %	13,5±1,08
Массовая доля дубильных веществ, %	11,4±1,50
Общая кислотность (в пересчете на лимонную кислоту), %	1,61±0,05
Содержание аскорбиновой кислоты, мг	5,84±0,15
Содержание бензойной кислоты, мг	0,294±0,05
Содержание флавоноидов (в пересчете на кверцетин), мг	614,4±0,4
Содержание антоцианов (в пересчете на цианидин 3,5 – дигликозид), мг	1185,93±12,24

В качестве мясной системы рассматривали котлеты для гамбургера. Выбор был обоснован тем, что она практически не содержит дополнительных ингредиентов, кроме мясного сырья. Классическая котлета включает говядину, однако чаще всего в сети общественного питания используется фарш из смеси говядины и свинины. Для эксперимента использовался фарш из говядины (60 %) и свинины (40 %).

Исследовали разные композиции котлет для гамбургера. Исходно жом *Vaccinium vitis-idaeae*. восстанавливали, так как в сухом виде он вбирает сок мясного сырья, и продукт получался более сухим. Использовали гидромодуль 1: 6, процесс выдержки 15 мин.

Исходная мясная система была составлена из 60 % говядины и 40 % свинины (контрольный образец).

Рассматривали три варианта: первый (№ 1-4) - введения жома за счет замены свинины, второй (№ 5-8) - замена мясного фарша и третий (№ 9-12) - введение жома дополнительно в рецептуру котлет без изменения количества мясного сырья.

В опытных образцах № 1-4 исходно вводили меньшее количество свинины и потом перемешивали с говядиной. В композициях № 5-8 говядину и свинину перемешивали тщательно в соотношении 60 % и 40 % соответственно. Затем часть смешанного фарша заменяли на жом. В образцах № 9-12 фарш смешивали и дополнительно вносили разное количество жома. Вариации опытных образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Варианты опытных фаршей для котлет

Компоненты	Контроль	Опытные композиции											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Говядина	60	60	60	60	60	90	85	80	75	60	60	60	60
Свинина	40	30	25	20	10					40	40	40	40
Жом	-	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25

При исследовании трехкомпонентной композиции (говядина + свинина + жом) в вариантах № 4, 8, 10, 11, 12 наблюдалось выделение сока, и после тепловой обработки на поверхности котлеты появлялись трещины. Структура котлеты была рыхлой и рассыпчатой. Поэтому данные композиции были исключены из дальнейших исследований.

В последующем рассматривали внесение в опытные образцы вкусовых добавок в виде соли поваренной и перца молотого черного.

Котлеты обжаривали с двух сторон до образования золотистой корочки и доводили до готовности в пароконвекционной печи при температуре 150 °С в течение 10 мин.

Внесение 15 и 20 % жома с заменой свинины приводило к изменению вкусовых характеристик, чувствовался сладкий привкус. После дегустации ощущался кислый привкус во рту. При 10 % замене не было выраженных изменений, однако часть участников дегустации (48 % респондентов) отметила снижение вкусовых качеств.

В случае варианта № 7 с 20 % заменой фарша ощущался кислый привкус, в то время как внесение 10 % жома во все композиции не влияло на органолептические показатели. Количество вводимого вторичного ягодного сырья зависит от химического состава ягоды. Количество антоцианов в брусничном жоме составляет 1185,93 мг/100г. Введение менее 10 % жома нецелесообразно, так как в готовом продукте количество необходимых минорных компонентов недостаточно для удовлетворения физиологических потребностей. Рекомендуемое количество вводимого жома брусники - 15 % с заменой смешанного фарша, вариант № 6. Показатели качества котлет для гамбургера представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели качества котлет

Наименование показателя	Характеристика и норма	
	Контроль	Опыт
Внешний вид	Поверхность чистая, края ровные	
Форма	Круглая	
Консистенция	Плотная	Плотная
Запах и вкус	без посторонних привкусов и запаха	
Массовая доля жира, %	19,52±1,00	16,01±1,01
Массовая доля пектиновые вещества, %	-	2,06±0,01
Содержание флавоноидов, мг/100г	-	264,38±10,65
Содержание антоцианов, мг/100г	-	582,79±11,51
Содержание аскорбиновой кислоты, мг	-	2,14±0,09
Содержание бензойной кислоты, мг	-	0,15±0,01
Влагосвязывающая способность, %	69,51±4,20	81,28±5,12
Влагоудерживающая способность, %	62,35±3,42	73,68±3,02

Результатом введения выжимки брусники в фаршевую систему котлет для гамбургеров является повышение биологической ценности продукта за счет внесения в мясную систему физиологически активных веществ, обладающих антиокислительными свойствами. При замене мясного сырья имеет место снижение содержания белков, жиров и изменение соотношения углеводов. Однако данные изменения рецептуры котлет не влияют значительно на пищевую ценность. Так как пищевая ценность определяется содержанием всех положительных характеристик продукта, а не только соотношением макронутриентов. Экспериментально установлено, что внесение ягодного жома повышает функционально-технологические свойства, снижает количество жира в продукте и обогащает котлеты биологически активными веществами (флавоноидами, антоцианами, пектиновыми веществами).

В заключение отмечаем, что для исследованных котлет оптимальным является замена 15 % смешанного фарша на жом. Однако гамбургер включает не только котлету, но и другие ингредиенты: булочку, овощи, соусы. В связи с этим не следует отказываться от вариантов замены свинины на 15 % и фарша на 20 %. Так как при сочетании с овощами и соусами показатель вкуса котлеты не будет регламентирующим.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Agregán, R. Fucus vesiculosus extracts as natural antioxidants for improvement of physicochemical properties and shelf life of pork patties formulated with oleogels / R. Agregán, F.J. Barba, M. Gavahian, et al. // J. Sci. Food Agric. 2019, 99, 4561–4570.
2. Vargas-Ramella M. The Antioxidant Effect of Colombian Berry (Vaccinium meridionale Sw.) Extracts to Prevent Lipid Oxidation during Pork Patties Shelf-Life / M.Vargas-Ramella, J. M. Lorenzo et al. // Antioxidants 2021, 10(8), 1290; DOI: 10.3390/antiox10081290.
3. Agregán, R. Fucus vesiculosus extracts as natural antioxidants for improvement of physicochemical properties and shelf life of pork patties formulated with oleogels / R. Agregán, F.J. Barba, M. Gavahian, et al. // J. Sci. Food Agric. 2019, 99, 4561–4570.
4. Ramírez-Rojo, M.I. Inclusion of ethanol extract of mesquite leaves to enhance the oxidative stability of pork patties / M.I. Ramírez-Rojo, R.D. Vargas-Sánchez, B. del Mar Torres-Martínez, et al. // Foods 2019, 8, 631.
5. Šojić, B. Supercritical extracts of wild thyme (Thymus serpyllum L.) by-product as natural antioxidants in ground pork patties / B. Šojić, V. Tomović, S. Kocić-Tanackov, et al. // LWT 2020, 130, 109661.
6. Lorenzo, J.M. Influence of natural extracts on the shelf life of modified atmosphere-packaged pork patties / J.M. Lorenzo, J. Sineiro, I.R. Amado, et al. // Meat Sci. 2014, 96, 526–534.
7. Peiretti, P.G. The effect of blueberry pomace on the oxidative stability and cooking properties of pork patties during chilled storage / P.G. Peiretti, F. Gai, M. Zorzi, et al. // J. Food Process. Preserv. 2020, 44, 14520.
8. Selani, M.M. Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage / M.M. Selani, C.J. Contreras-Castillo, L.D. Shirahigue, et al. // Meat Sci. 2011, 88, 397–403.
9. Pogorzelska, E. Antioxidant potential of Haematococcus pluvialis extract rich in astaxanthin on colour and oxidative stability of raw ground pork meat during refrigerated storage / E. Pogorzelska, J. Godziszewska, M. Brodowska, // Meat Sci. 2018, 135, 54–61.

10. Selani, M.M. Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage / M.M. Selani, C.J. Contreras-Castillo, L.D. Shirahigue, et al. // *Meat Sci.* 2011, 88, 397–403.
11. Cando D. Phenolic-rich extracts from Willowherb (*Epilobium hirsutum* L.) inhibit lipid oxidation but accelerate protein carbonylation and discoloration of beef patties / D. Cando, D. Morcuende, M. Utrera et al. // *European Food Research and Technology*, 238 (5) (2014), pp. 741-751
12. Estévez M. Effectiveness of rosemary essential oil as an inhibitor of lipid and protein oxidation: Contradictory effects in different types of frankfurters / M. Estévez, R. Cava // *Meat Science*, 72 (2) (2006), pp. 348-355.
13. Kalogianni A.I. Natural phenolic compounds for the control of oxidation, bacterial spoilage, and foodborne pathogens in meat / A.I. Kalogianni, T. Lazou, I. Bossis et al. // *Foods*, 9 (6) (2020), p. 794.
14. Essa R. Effect of Using Date Pits Powder as a Fat Replacer and Anti-Oxidative Agent on Beef Burger Quality / Rowida Essa; E. M. Elsebaie // February 2018 *Journal of Food and Dairy Science* 9(2):91-96 DOI:10.21608/jfds.2018.35225
15. Serba E.M. Fruit Cowberry - a Promising Source of Biologically Active Substances / E.M. Serba, G.S. Volkova, E.N. Sokolova et al. // *Storage and processing agricultural raw materials*, no 4, 2018, pp. 48-58
16. Ek, S. Characterization of phenolic compounds from lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) / S. Ek, H. Kartimo, S. Mattila, et al. // *J. Agric. Food Chem.* 2006, 54, 9834–9842.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.004>

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Научная статья

Бормотов А.Н.*

ORCID: 0000-0001-7069-6603,

Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

* Корреспондирующий автор (aleks21618[at]yandex.ru)

Аннотация

В работе исследуются процессы отверждения ненаполненных эпоксидных смол ЭД-16. Выполнено математическое моделирование процессов отверждения и приводятся математические модели процессов отверждения в виде полных квадратичных полиномиальных моделей. Отдельно исследуется степень отверждения ненаполненных эпоксидных композиций. В результате исследования полученных моделей и выполнения процедур оптимизации для смолы ЭД-16 разработаны теоретические аспекты отверждения высоковязких эпоксидных систем и предложены рецептурно-технологические параметры получения высокопрочной полимерной матрицы на основе высоковязкой смолы ЭД-16, позволяющей получать эпоксидные композиты с заданными параметрами структуры и свойств.

Ключевые слова: композиционные материалы, математическое моделирование, оптимальная структура, оптимизация свойств.

OPTIMIZATION OF THE POLYMER MATRIX OF EPOXY COMPOSITES

Research article

Bormotov A.N.*

ORCID: 0000-0001-7069-6603,

Penza State Technological University, Penza, Russia

* Corresponding author (aleks21618[at]yandex.ru)

Abstract

The paper investigates the curing processes of the unfilled epoxy resins ED-16. The author performs a mathematical simulation of curing processes and presents mathematical models of curing processes in the form of complete quadratic polynomial models. The article also features a separate study of the degree of curing of unfilled epoxy compositions. As a result of studying the obtained models and performing optimization procedures for ED-16 resin, the article develops theoretical aspects of curing high-viscosity epoxy systems as well as proposes formulation and technological parameters for obtaining a high-strength polymer matrix based on the high-viscosity ED-16 resin, which allows for obtaining epoxy composites with specified structure and properties parameters.

Keywords: composite materials, mathematical modeling, optimal structure, optimization of properties.

Введение

В настоящее время современное строительство для изготовления строительных конструкций, отделочных элементов зданий и сооружений остро нуждается в композиционных строительных материалах, которые отличаются высокими эксплуатационными характеристиками и имеют строго заданную структуру и свойства. Например, композиционные строительные материалы для защиты от радиации должны обладать некоторыми специфическими свойствами: высокой средней плотностью, наличием элементов с большими атомными номерами, отсутствием кристаллической решётки, минимальным содержанием элементов, образующих долгоживущие нуклиды, и т.д. [1], [2].

Наибольший практический интерес представляет возможность получения композиционных строительных материалов с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами при минимальных затратах времени и материальных ресурсов. Решение этой задачи не возможно без оптимальной во всех смыслах полимерной матрицы. Такая полимерная матрица должна иметь оптимальные реологические характеристики [3], [4] и высокие физико-механические показатели. В качестве факторов, оказывающих наиболее сильное влияние на физико-механические показатели, являют концентрация отвердителя и прогрев полимерной матрицы [5], которые при оптимальном соотношении обеспечивают максимальную степень отверждения эпоксидной смолы.

Методы и принципы исследования

При создании эпоксидных композитов для защиты от радиации в качестве связующего использовали эпоксидно-диановую смолу марки ЭД-16, отверждаемую полиэтиленполиамином (ПЭПА). Выбор смолы обусловлен более высокой молекулярной массой по сравнению с другими марками, что должно обеспечивать лучшую защиту от действия высокоэнергетических излучений.

Для оценки степени отверждения эпоксидной смолы использовался метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [6], основанный на измерении тепла, выделяющегося при реакции отверждения эпоксидных смол, с использованием прибора DSC6000 фирмы PerkinElmer.

Степень отверждения – величина (%), характеризующая степень протекания реакции отверждения эпоксидной смолы. Степень отверждения вычисляют по формуле (1).

$$\text{Степень отверждения} = \left(1 - \frac{H_s}{H_T}\right) \cdot 100, \quad (1)$$

где: $-H_S$ – общая теплота реакции испытуемой (частично) отвержденной эпоксидной композиции, Дж/г; H_T – общая теплота реакции отверждения, определенная в предварительном испытании, Дж/г [6].

Общая теплота реакции – общее количество тепла (Дж/г), выделяемое неотвержденной эпоксидной композицией в процессе полного протекания реакции отверждения, определенную методом ДСК [6].

Для большинства реальных материаловедческих, рецептурно-технологических и технико-экономических задач целесообразно применять полиномиальные модели [7], поэтому в данной работе для описания поведения системы использовали полиномиальные экспериментально-статистические модели (ЭС-модели) вида:

$$\bar{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i < j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2 + \dots + \varepsilon, \quad (2)$$

где b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – определяются как статистические величины в нормализованном виде по экспериментальным данным; ε – случайная величина, учитывающая совокупность ошибок эксперимента.

Причём, учитывая точность приборов и инструментов, используемых при проведении экспериментов, достаточно уравнения регрессии второго порядка. При использовании уравнений более высоких степеней точность оценок коэффициентов уравнений регрессии будет превышать точность определения экспериментальных данных, и уравнение регрессии будет неадекватно при проверке по критерию Фишера. Исходя из этого, в данной работе применялись полные квадратичные ЭС-модели. Такие модели позволяют производить полный регрессионный анализ, результатом которого является решение оптимизационной задачи первого вида – отыскание оптимальных условий функционирования системы при любом расходе ресурса и второго вида – отыскание минимального расхода ресурса для обеспечения требуемого уровня показателя качества системы [7].

Для оптимизации полимерной матрицы был выбран девятиточечный композиционный симметричный план ПФЭ 3^2 , имеющий высокую эффективность по критериям D, A, E и Q, который легко анализируется и позволяет представить результаты графически. Его целесообразно применять всегда, когда неизвестно направление поиска и нет жёстких ограничений на ресурсы.

Факторы и интервалы их варьирования были выбраны следующие:

фактор X_1 – концентрация отвердителя ПЭПА, интервалы варьирования:

$$X_1 = \begin{cases} +1 = 30 \% \\ 0 = 18 \% - \text{от массы смолы ЭД-16;} \\ -1 = 6 \% \end{cases}$$

фактор X_2 – температура прогрева образцов, интервалы варьирования:

$$X_2 = \begin{cases} +1 = 80 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0 = 60 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{в течение 5 часов;} \\ -1 = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

Основные результаты

Формирование структуры эпоксидных композитов повышенной плотности осуществляли с использованием основных положений полиструктурной теории, теории оптимального управления и методов системного анализа. Сущность полиструктурной теории состоит в представлении материала полиструктурным, то есть в выделении в единой структуре многих взаимозависимых структур, прорастающих одна в другую (по принципу «структура в структуре»). Выделение систем и подсистем, иерархия критериев качества, оптимизация режимов формирования отдельных структур в полиструктуры – все это и определяет рецептуру и технологию изготовления композитов [8].

Расчёты коэффициентов уравнений регрессий, их оценок, доверительных интервалов, проверки критериев Стьюдента и Фишера и т.д. проводили в соответствии с методикой, изложенной в [7] при помощи программы Mathcad v.14. После проведения всех статистических расчётов было получено окончательное уравнение регрессии:

$$Y = 112 + 17,2 \cdot X_2 - 10,1 \cdot X_1^2 - 5,1 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (3)$$

В натуральном виде уравнение (3) имеет вид:

$$R_{сж} \text{ } C, T = 112 + 17,2 \cdot T - 10,1 \cdot C^2 - 5,1 \cdot C \cdot T, \quad (4)$$

где $R_{сж}(C, T)$ – предел прочности при сжатии ненаполненных образцов размером $20 \times 20 \times 20$ мм; C – концентрация ПЭПА в % – оптимизируемый фактор X_1 ; T – температура прогрева в $^\circ\text{C}$ – оптимизируемый фактор X_2 .

После исследования и решения данного уравнения регрессии на экстремум были получены следующие значения $R_{сж}(C, T)$, C и T :

- $R_{\max} = 129,79 \approx 130$ МПа – предел прочности при сжатии;
- $C = -0,252 \approx 15$ % – концентрация отвердителя от массы смолы;

- $T = 1 \approx 80 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура прогрева изделий.

По этим данным были построены изолинии результирующей функции (области равных оценок), на которой отображены результаты оптимизации (рис. 1). Как видно из рисунка 1, уравнение (4) имеет чётко выраженный максимум, соответствующий 15 %-ной (от массы смолы) концентрации отвердителя и температуре прогрева изделий $80 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5 часов.

Для проверки результатов математического моделирования и оптимизации рецептурно-технологических параметров полимерной матрицы эпоксидных композитов была определена степень отверждения ненаполненной смолы в условиях уровня варьирования второго фактора методом ДСК [6].

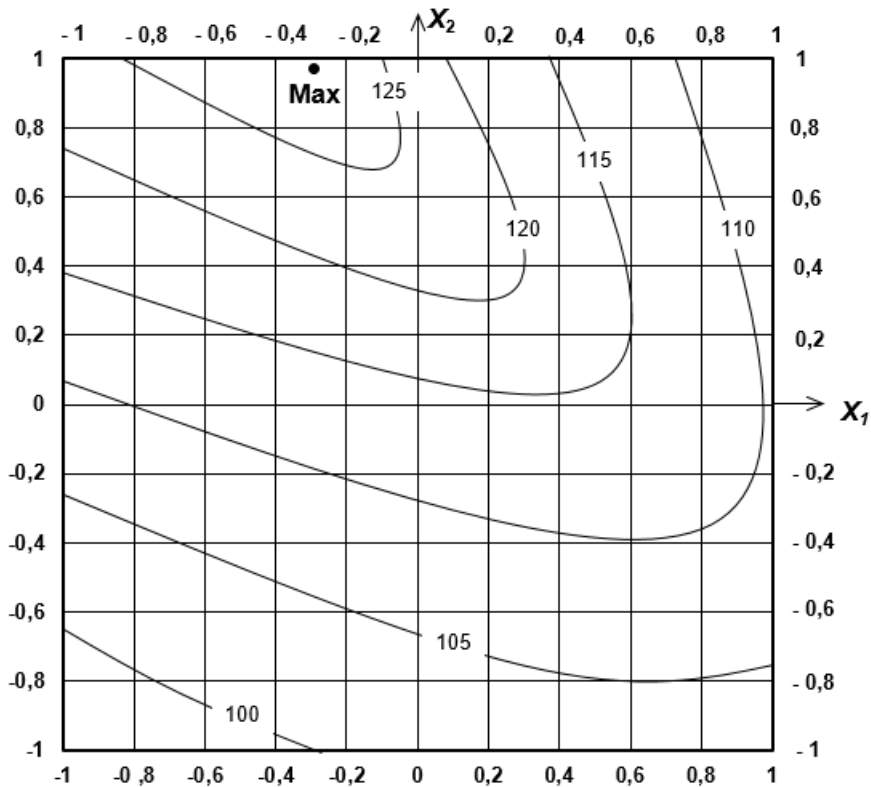


Рис. 1 – Изолинии прочности полимерной матрицы

Процедура выполнения измерения степени отверждения изображена на рисунке 2.

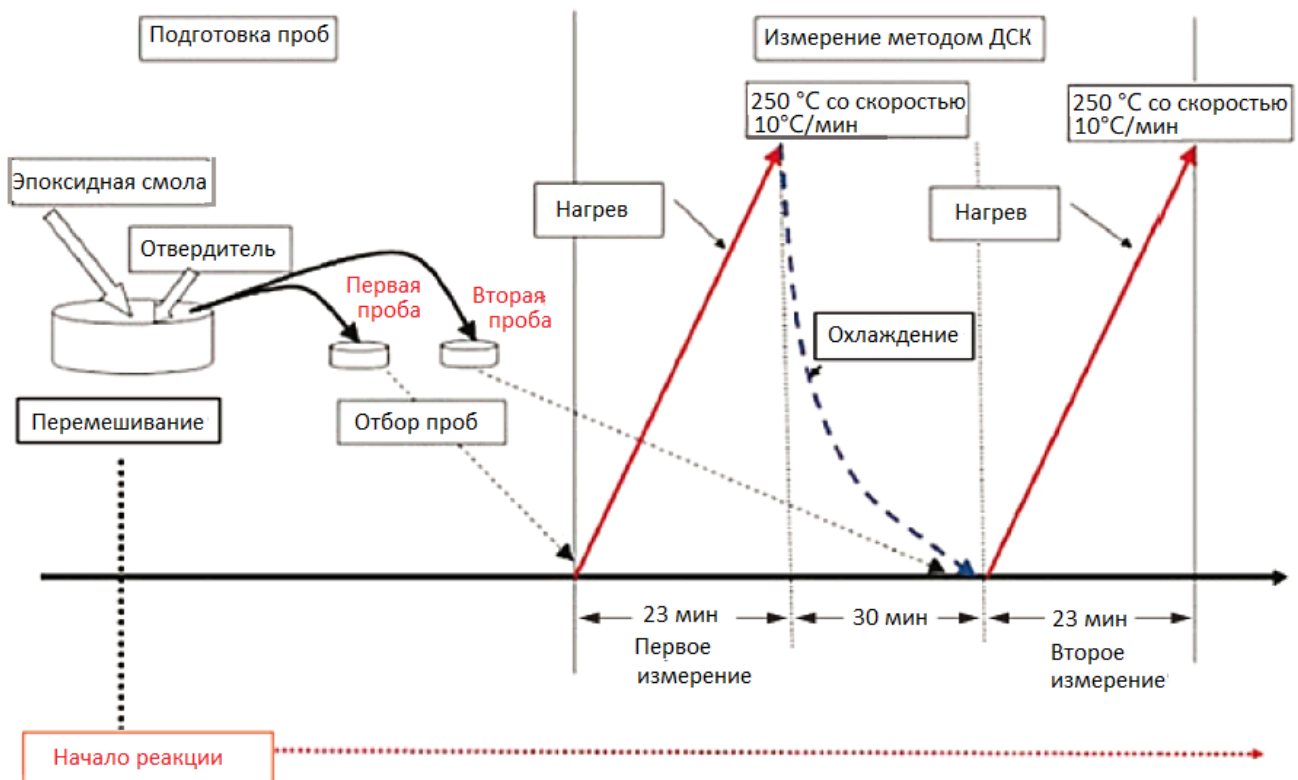


Рис. 2 – Процедура выполнения измерения степени отверждения

За начало экзотермической реакции принимали момент отклонения на кривой ДСК теплового потока от базовой линии (левый предел интегрирования ДСК кривой), за окончание экзотермической реакции принимали момент выхода на кривой ДСК правой ветви теплового потока на базовую линию (правый предел интегрирования ДСК кривой), рисунок 3. Ввиду значительной разнице высот базовых линий до и после процесса отверждения выполняли интегрирование с помощью сигмоидальной базовой линии, рисунок 3.

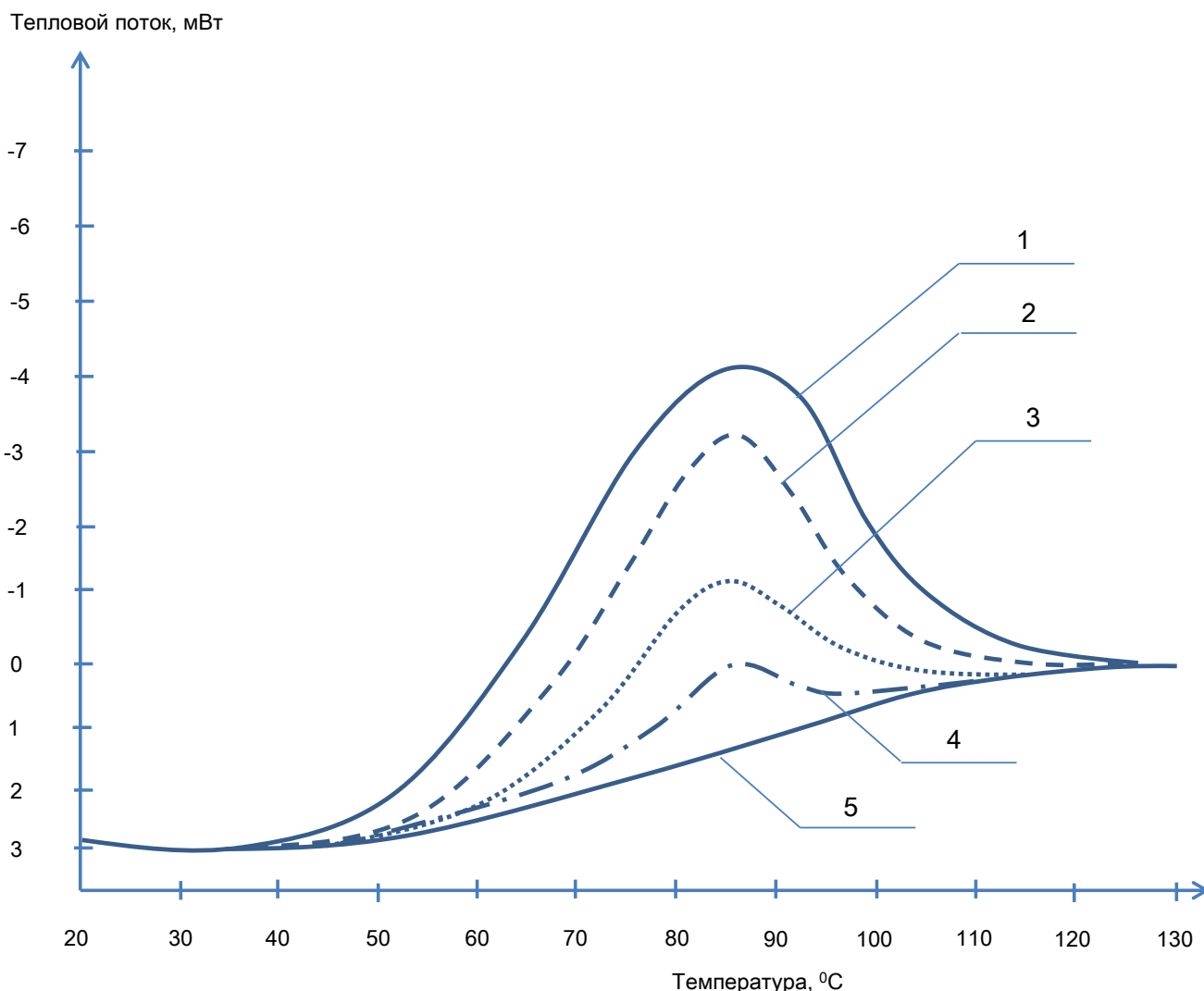


Рис. 3 – Определение площади между кривыми ДСК и сигмоидальной базовой линией:

- 1 – неотвержденная эпоксидная композиция; 2 – прогрев при температуре 40 °C в течение 5 часов;
3 – прогрев при температуре 60 °C в течение 5 часов; 4 – прогрев при температуре 80 °C в течение 5 часов;
5 – базовая линия, соответствующая полному отверждению эпоксидной композиции

Степень отверждения частично отвержденной эпоксидной композиции определяли по отношению теплоты реакции этой композиции к общей теплоте реакции неотвержденной эпоксидной композиции по формуле (1).

После обработки эксперимента согласно методике, изложенной в [6], были получены результаты:

- степень отверждения 72,4% при прогреве при температуре 40 °C в течение 5 часов;
- степень отверждения 85,1% при прогреве при температуре 60 °C в течение 5 часов;
- степень отверждения 98,5% при прогреве при температуре 80 °C в течение 5 часов.

Заключение

По частным производным от обоих переменных в уравнении (3) видно, что зависимость прочности от температуры прогрева имеет прямо пропорциональный характер, а от концентрации отвердителя – параболический. Это можно объяснить тем, что, увеличивая температуру прогрева, мы уменьшаем размеры глобул трехмерной сетки и увеличиваем степень полимеризации смолы, что приводит к упорядочиванию структуры и улучшению физико-механических свойств. Образующиеся в процессе твердения зародыши полимерной фазы дисперсно распределены по объёму и фактически играют роль наполнителей. Таким образом, твердеющие ненаполненные полимерные системы на определённом этапе формирования структуры можно считать наполненными естественным образом. Учитывая, что на определённом этапе твердения двухфазные полимерные системы за счёт кластерообразования стремятся достичь состояния термодинамического равновесия, то параболическая зависимость показывает существование такого количества отвердителя, при котором появление зародышей полимерной фазы, их самоорганизация – кластерообразование, а, следовательно, достижение термодинамического равновесия происходит за самое короткое время и в самом полном объёме.

Эксперименты по определению степени отверждения подтверждают выбранные при математическом моделировании технологические параметры температурного прогрева эпоксидных композиций.

Изложенная в статье методология оптимизации полимерной матрицы на основе эпоксидных композиций была многократно апробирована различными учеными при синтезе композиционных материалов с заданными параметрами структуры и свойств [1], [3], [9], [15].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бормотов А.Н. Математическое моделирование и многокритериальных синтез композиционных материалов специального назначения / А.Н. Бормотов : дис. ... доктора. техн. наук – Пенза, Пензенский государственный технологический университет, 2011. – 275 с.

2. Giustozzi, F. Shear rheology and microstructure of mining material-bitumen composites as filler replacement in asphalt mastics / Filippo Giustozzi, Kyrollo Smansour, Federico Patti et al. // Construction and Building Materials, Volume 171, 2018, pp. 726-735. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.190.

3. Бормотов, А.Н. Моделирование влияния модифицирующих добавок на реологические показатели композитов / Бормотов А.Н., Горохова А.А. // Международный научно-исследовательский журнал. – №4 (106). – Часть 1. – 2021. – С. 51-56. DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.008.

4. Бормотов, А.Н. Математическая модель вязкости ненаполненной эпоксидной смолы / А.Н. Бормотов, А.А. Горохова // Международный научно-исследовательский журнал. – №4 (94). – Часть 1. – 2020. – С. 23-31. DOI: 10.23670/IRJ.2020.94.4.003.

5. Mphahlele, K. Cure kinetics, morphology development, and rheology of a high-performance carbon-fiber-reinforced epoxy composite / Keletso Mphahlele, Suprakas Sinha Ray, Andrei Kolesnikov // Composites. Part B: Engineering. – Volume 176, 2019, 107300. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107300

6. ГОСТ Р 57687-2017. «Пластмассы. Эпоксидные смолы. Определение степени отверждения эпоксидных смол с применением дифференциальной сканирующей калориметрии» от 01.02.2018. – М.: АНО "Стандарткомполит", 2018. – 10 с.

7. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский и др.. Киев, 1989. – 119 с.

8. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов // Материалы юбилейной конференции: Успехи строительного материаловедения. – М.: МИИТ, 2001. – С. 41-56.

9. Гайфутдинов А.М. Мониторинг процесса отверждения эпоксидных связующих для композиционных материалов / А.М. Гайфутдинов // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых). Тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции, в 6 т., 2019. – С. 399-402.

10. Хасимова, А.С. Литой бетон на основе композиционного гипсового вяжущего / А.С. Хасимова, Н.Н. Морозова, В.Г. Хозин // Технологии бетонов. – 2015. – № 3-4 (104-105). – С. 23-25.

11. Завражин, Д. О. Основы реологии полимеров и технологические методы переработки полимерных материалов : учебное пособие / Д.О. Завражин, О.Г. Маликов, П.С. Беляев. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. – 109 с.

12. Keon-SooJang. Mechanics and rheology of basalt fiber-reinforced polycarbonate composites / Keon-SooJang // Polymer. – Volume 147, 2018, Pp. 133-141. DOI: 10.1016/j.polymer.2018.06.004

13. Fuchs, L. Numerical modeling of the effect of composite rheology on internal deformation in down-built diaphragms / Lukas Fuchs, Hemin Koyi, Harro Schmeling / Tectonophysics. – Volume 646, 2015, Pp. 79-95. DOI: 10.1016/j.tecto.2015.01.014

14. Tang, Z. Optimization of rheological parameters and mechanical properties of Engineered Cementitious Composites (ECC) using regression-based models / Zixuan Tang, Chrysoula Litina, Abir Al-Tabbaa / Construction and Building Materials. – Volume 310, 2021, 125281. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125281

15. Белов В.В. Капиллярная аутогезия в трехфазных сырьевых смесях / В.В. Белов // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году. – Российская академия архитектуры и строительных наук. – Москва, 2019. – С. 58-68.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bormotov A.N. Matematicheskoe modelirovanie i mnogokriterial'nyh sintez kompozitsionnykh materialov special'nogo nakhnacheniya [Mathematical modeling and multicriteria synthesis of composite materials of special purpose] / A.N. Bormotov: dis. ... doktora. tekhn. nauk – Penza, Penza State Technological University, 2011. – 275 p. [in Russian]

2. Giustozzi, F. Shear rheology and microstructure of mining material-bitumen composites as filler replacement in asphalt mastics / Filippo Giustozzi, Kyrollo Smansour, Federico Patti et al. // Construction and Building Materials, Volume 171, 2018, pp. 726-735. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.190.

3. Bormotov, A.N. Modelirovanie vliyaniya modifiziruyushchih dobavok na reologicheskie pokazateli kompozitov [Modeling of the effect of modifying additives on rheological parameters of composites] / A.N. Bormotov, A.A. Gorohova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Scientific Research Journal]. – №4 (106). – Vol. 1. – 2021. – Pp. 51-56. DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.008 [in Russian]

4. Bormotov, A.N. Matematicheskaya model' vyazkosti nenapolnennoj epoksidnoj smoly [Mathematical model of the viscosity of unfilled epoxy resin] / A.N. Bormotov, A.A. Gorohova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Scientific Research Journal]. – №4 (94). – Vol. 1. – 2020. – Pp. 23-31. DOI: 10.23670/IRJ.2020.94.4.003 [in Russian]

5. Mphahlele, K. Cure kinetics, morphology development, and rheology of a high-performance carbon-fiber-reinforced epoxy composite / Keletso Mphahlele, Suprakas Sinha Ray, Andrei Kolesnikov // *Composites. Part B: Engineering*. – Volume 176, 2019, 107300. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107300
6. GOST R 57687-2017. «Plastmassy. Epoksidnye smoly. Opredelenie stepeni otverzheniya epoksidnyh smol s primeneniem differentsial'noj skaniruyushchej kalorimetrii» [Plastics. Epoxy resins. Determination of the degree of curing of epoxy resins using differential scanning calorimetry] ot 01.02.2018. – M.: ANO "Standartkompozit", 2018. – 10 p. [in Russian]
7. Voznesenskij V.A. CHislennyye metody resheniya stroitel'no-tekhnologicheskikh zadach na EVM [Numerical methods for solving construction and technological problems on a computer] / V.A. Voznesenskij et al. Kiev, 1989. – 119 p. [in Russian]
8. Solomatov V.I. Elementy obshchej teorii kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov [Elements of the general theory of composite building materials] / V.I. Solomatov // *Materialy yubilejnoj konferencii: Uspekhi stroitel'nogo materialovedeniya* [Proceedings of the anniversary conference: Advances in building materials]. – M.: MIIT, 2001. – Pp. 41-56. [in Russian]
9. Gajfutdinov A.M. Monitoring processa otverzheniya epoksidnyh svyazuyushchih dlya kompozitsionnykh materialov [Monitoring of the curing process of epoxy binders for composite materials] / A.M. Gajfutdinov // XXIV Tupolevskie chteniya (shkola molodykh uchenykh). Teksty dokladov uchastnikov Mezhdunarodnoj molodyozhnoj nauchnoj konferencii, v 6 t. [In the collection: XXIV Tupolev readings (school of young scientists). Texts of reports of participants of the International Youth Scientific Conference, in 6 volumes], 2019. – Pp. 399-402. [in Russian]
10. Hasimova, A.S. Litoj beton na osnove kompozitsionnogo gipsovogo vyazhushchego [Cast concrete based on composite gypsum binder] / A.S. Hasimova, N.N. Morozova, V.G. Hozin // *Tekhnologii betonov* [Technologies of concrete]. – 2015. – № 3-4 (104-105). – Pp. 23-25. [in Russian]
11. Zavrzhin, D. O. Osnovy reologii polimerov i tekhnologicheskie metody pererabotki polimernykh materialov : uchebnoe posobie [Fundamentals of polymer rheology and technological methods of polymer materials processing : textbook] / D.O. Zavrzhin, O.G. Malikov, P.S. Belyaev. — Tambov : Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet [Tambov : Tambov State Technical University], ELE ASV, 2017. – 109 p. [in Russian]
12. Keon-SooJang. Mechanics and rheology of basalt fiber-reinforced polycarbonate composites / Keon-SooJang // *Polymer*. – Volume 147, 2018, Pp. 133-141. DOI: 10.1016/j.polymer.2018.06.004
13. Fuchs, L. Numerical modeling of the effect of composite rheology on internal deformation in down-built diaphragms / Lukas Fuchs, Hemin Koyi, Harro Schmeling // *Tectonophysics*. – Volume 646, 2015, Pp. 79-95. DOI: 10.1016/j.tecto.2015.01.014
14. Tang, Z. Optimization of rheological parameters and mechanical properties of Engineered Cementitious Composites (ECC) using regression-based models / Zixuan Tang, Chrysoula Litina, Abir Al-Tabbaa // *Construction and Building Materials*. – Volume 310, 2021, 125281. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125281
15. Belov V.V. Kapillyarnaya autogeziya v trekhfaznykh syr'evykh smesyah [Capillary autohesion in three-phase raw materials mixtures] / V.V. Belov // *Fundamental'nye, poiskovyie i prikladnye issledovaniya Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nykh nauk po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2018 godu* [In the collection: Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2018]. – Rossijskaya akademiya arhitektury i stroitel'nykh nauk [Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. – Moskva, 2019. – Pp. 58-68. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.005>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ВНУТРЕННИМИ И ОТРАЖЕННЫМИ ТРЕЩИНАМИ В ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЕ

Научная статья

Каменчуков А.В.^{1,*}, Селенок М.Д.²

¹ ORCID: 0000-0001-7997-3195;

^{1,2} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (006641[at]pnu.edu.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы оценки прочности двухслойных асфальтобетонных систем с наличием внутренних дефектов (трещин) и без дефектов. Предоставлен обзор современных технологий по оценке износостойкости дорожных покрытий. Выполнено математическое моделирование, оценка напряженно-деформированного состояния и устойчивости двухслойных асфальтобетонных систем. Разработаны рекомендации по уменьшению влияния внутренних трещин на прочность и деформируемость дорожных покрытий.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная одежда, прочность, напряженно-деформированное состояние, математическое моделирование, внутренние трещины.

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF METHODS OF COMBATING INTERNAL AND REFLECTIVE CRACKS IN ROAD SURFACES

Research article

Kamenchukov A.V.^{1,*}, Selenok M.D.²

¹ ORCID: 0000-0001-7997-3195;

^{1,2} Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (006641@pnu.edu.ru)

Abstract

The article discusses the issues of assessing the strength of two-layer asphalt concrete systems with the presence of internal defects (cracks) and without defects. The authors provide an overview of modern technologies for assessing the wear resistance of road surfaces as well as perform mathematical simulation and an assessment of the stress-strain state and stability of two-layer asphalt concrete systems. The study also provides recommendations on reducing the impact of internal cracks on the strength and deformability of road surfaces.

Keywords: automobile road, road clothing, strength, stress-strain state, mathematical modeling, internal cracks.

Введение

Исторически сложилось так, что сеть автомобильных дорог страны развивалась неравномерно, в европейской части страны плотность дорог значительно больше, чем в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Инженерно-геологические и природно-климатические условия работы дорожных конструкций так же нельзя назвать однородными на территории Российской Федерации. Более 70 % территории страны относятся к районам рискованного земледелия, с преобладанием многолетнемерзлых грунтов и относятся к сложным инженерным условиям проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства [1], [2], [3].

Территория Дальнего Востока страны, по характеру взаимодействия инженерных объектов с геосредой, несомненно, относится к территориям со сложными инженерно-геологическими и грунтово-гидрологическими условиями. Различные сочетания инженерно-геологических, природно-климатических и техногенных факторов оказывают неблагоприятное комплексное воздействие на дорожную конструкцию: изменённые, водно-теплогового режима, развитие и накопление необратимых деформаций земляного полотна и слоев дорожной одежды, в том числе пластических деформаций в зонах торможения и разгона транспортных средств, износ (истирание) покрытия [4], [6], [8].

Диагностика дорожных покрытий

Наиболее характерными дефектами, приводящими к ухудшению качества дорожного покрытия, является износ (истирание) покрытия, колееобразование, выбоины и трещины, которые под действием воды и транспортной нагрузки развиваются в выбоины [1], [6], [9], [10].

Технического состояния дорог оценивают по «Рекомендациям по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог» ОДМ 218.4.039-2018.

Методика диагностики, описанная в ОДМ 218.4.039-2018 позволяет производить диагностические работы на автомобильных дорогах федерального, регионального и местного значения, с целью получения полной, объективной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии дорог. Что в дальнейшем даст возможность обновить банк дорожных данных о техническом уровне и эксплуатационном состоянии, а также определить участки дорог, на которых требуется проведение ремонтных работ [4], [11].

В настоящее время при диагностике автомобильных дорог оцениваются следующие показатели:

- продольная ровность. Расчет показателя IRI производится по участкам равным протяженности 100 м и 1000 м и только на автомобильных дорогах, имеющих облегченный либо капитальный тип дорожной одежды, а именно покрытие, укрепленное асфальтобетоном, гравием обработанным органическим вяжущем и т. п. Единицей измерения является (м/км). Оценка технического состояния по продольной ровности производится путем сравнения фактических значений с нормативными. Нормативные показатели задаются в зависимости от категории дороги и типа дорожной одежды.

- регистрация повреждений дорожного покрытия осуществлялась с помощью визуального осмотра и анализа видео файлов. После определения повреждений на дороге, задавался соответствующий дефекту балл, согласно нормативным показателям. Участок автомобильной дороги, на котором зафиксировано наличие дефектов с оценкой менее 4,0 баллов, считается находящимся в ненормативном состоянии.

- оценка поперечной ровности (колеи) осуществляется с помощью расчета данных, полученных с дорожной лаборатории (Прибором Сканер 190). Оценка технического состояния по поперечной ровности (колеи) производится путем сравнения фактических значений с нормативными. Нормативные показатели задаются в зависимости от категории и типа дорожной одежды. Измерения производятся только на облегченном и капитальном типе покрытия.

Лабораторные испытания дорожного покрытия

Для оценки уровня износа дорожного покрытия, его прочностях характеристик из покрытия выпиливаются керны диаметром 150 (200) мм или плиты 300х300 мм, для дальнейшего испытания в лабораторных условиях. Испытания к стойкости на колееобразование проводят в специальной установке (например: Оборудование для испытания на колееобразование («Колесо»), рис. 1) [12] в соответствии с ГОСТ Р 58406.3-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса».



Рис. 1 – Испытание покрытия на колееобразование в установке

Основным показателем прочности дорожного покрытия является предела прочности на растяжение при изгибе, который определяется в соответствии с ГОСТ Р 58406.6-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения предела прочности на растяжение при изгибе и предельной относительной деформации растяжения».

В настоящем исследовании выполнен сравнительный анализ изменения предела прочности на растяжение при изгибе в образцах с внутренними трещинами и в образцах без трещин.

При выполнении работ использовалось следующее оборудование:

- Машина для испытаний ПМ-1А-70АБ (Свидетельство о поверке №С-АЮ/23-09-2021/96846173 от 23.09.2021 до 24.09.2022);
- Весы Vibra AJ-6200SE (Свидетельство о поверке №С-АЮ/18-02-2021/38915942 от 18.02.2021 до 17.02.2022);
- Шкаф сушильный УТ-4686 (Протокол №10853 от 26.02.2021 до 25.02.2022);
- Формы цилиндрические ЛО-257 диаметром 71,4 мм (Протокол №ИЛ-741 от 02.11.2021 до 01.11.2022);
- Роллерный компактор, модель В039 (Аттестат №206223 от 25.11.2020 до 24.11.2021);
- Штангенциркуль ШЦ-I-150 0,1 (Свидетельство о поверке №С-АЮ/09-08-2021/85510126 от 09.08.2021 до 08.02.2022);
- Приспособление для испытания на изгиб (Аттестат №ИЛ-330 от 20.10.2020 до 19.10.2022).

Образцы-плиты приготовлены в соответствии с ГОСТ Р 58406.4-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Приготовление образцов-плит вальцовым уплотнителем» из горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона тип Б, марки I на БНД 100/130 по ГОСТ 9128-2013.

Перед приготовлением плит, была определена средняя плотность асфальтобетона по ГОСТ 12801-98. Средняя плотность асфальтобетона составила 2,37 г/см³.

На роллерном компакторе изготовлено 4 плиты из асфальтобетона плотностью 2,37 г/см³ размером 30,5×40,0×7,0 см. В 2 плитах на глубине 3,0±0,2 см от верха плиты заложены детали из экструдированного пенополистирола высотой 2,0 см и толщиной 1,0 см имитирующие трещину.

Через 24 часа после изготовления образцов-плит были выпилены 12 образцов-балочек размером 7,0×7,0×30,5 см. Шесть балочек без трещины (рис. 2, а) и шесть балочек с имитацией трещины (рис. 2, б). Допуск по размерам поперечного сечения ±2,0 мм.

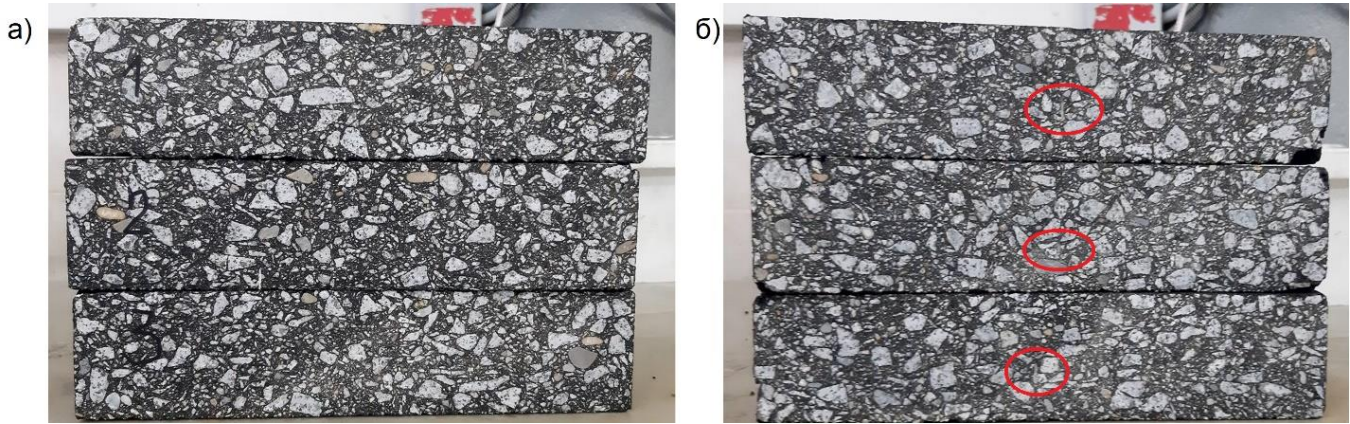


Рис. 2 – Образцы-балочки без трещины (а) и с имитацией трещины (б)

Образцы-балочки были разделены на две группы, в каждую из которых вошли три балочки без трещины и три балочки с внутренней трещиной, для проведения на изгиб. Первая группа образцов испытывалась при температуре (плюс 22 ± 3) °С, не регламентированные испытания. Вторая группа образцов перед испытанием была выдержана 24 ч в морозильной камере при температуре (минус 18 ± 2) °С, в соответствии с п. 8.4.1 ГОСТ Р 58406.6-2020.

Расчетная схема испытания, на примере образца-балочки с внутренней трещиной, представлена на рисунке 3.

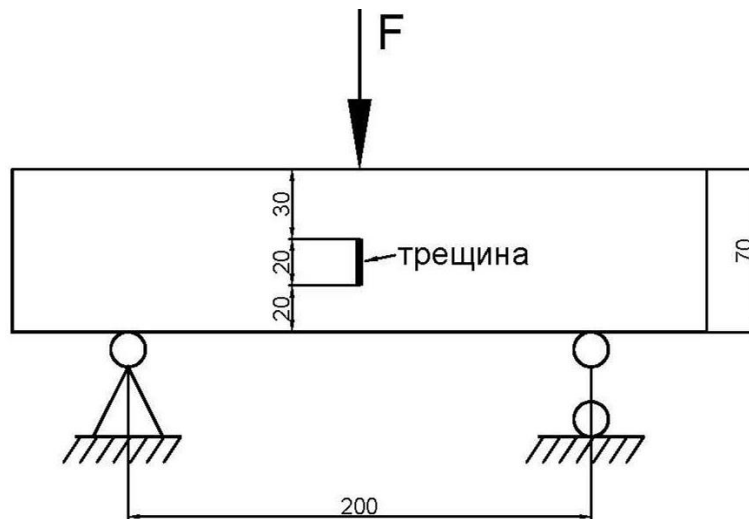


Рис. 3 – Схема испытания образцов-балочек

Процесс испытания образ-балочек показан рис. 4, а характер разрушений образцов с без трещин и с трещинами показан на рис. 5 При температуре образцов (минус 18 ± 2) °С происходит образование трещины и разлом балочки в месте приложения нагрузки на две части, а при температуре (плюс 22 ± 2) °С образцы испытывают ярко выраженные пластические деформации и также разрушаются разломом в месте приложения нагрузки на две части.



Рис. 4 – Проведение испытаний на изгиб при температуре (минус 18 ± 2) °С

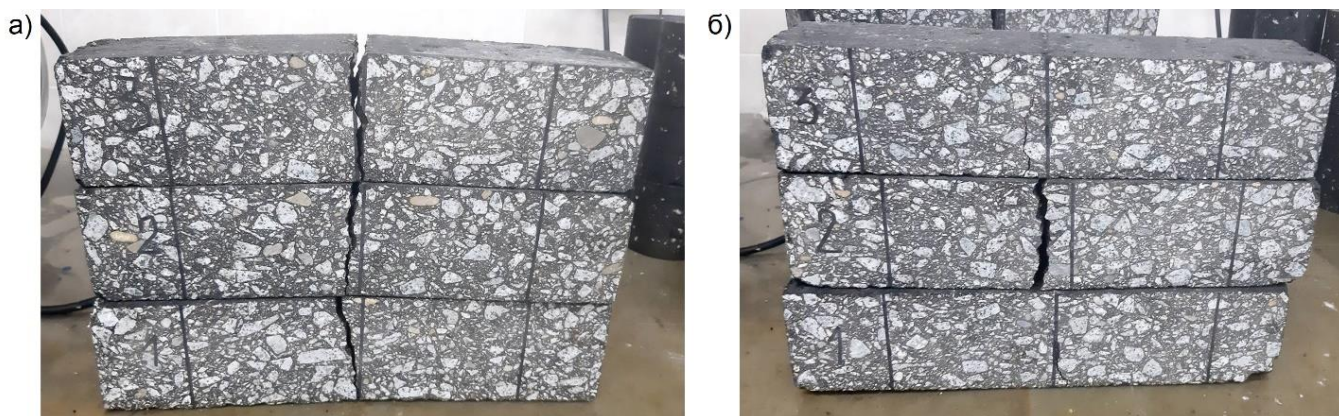


Рис. 5 – Характер разрушения образцов без трещины (а) и образцов с имитацией трещины (б)

Расчет прочности при изгибе на растяжение выполнен по формуле (1) ГОСТ Р 58406.6-2020:

$$R_{\text{изг}} = \frac{3PL}{2bh^2} 10^{-2},$$

где Р – разрушающая нагрузка, Н;

L – расстояние между опорами, см;

b – ширина образца, см;

h – высота образца, см.

Результаты испытаний приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты испытания образцов-балочек при температуре (плюс 22±3) °С

№	Размеры образца-балочки, см			Расстояние между опорами L, см	Максимальное значение прогиба, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность при изгибе на растяжение, МПа	
	Ширина b	Высота h	Длина L				Отдельного образца	Среднее значение
Образцы-балочки 1 группа								
1	7,20	7,15	30,5	20,0	2,30	2824	2,30	2,21
2	7,20	7,15	30,5	20,0	2,17	2700	2,20	
3	7,20	7,15	30,5	20,0	2,10	2616	2,13	
Образцы-балочки 2 группа с имитацией трещины								
1	7,15	7,20	30,5	20,0	2,27	1551	1,26	1,26
2	7,15	7,15	30,5	20,0	2,22	1541	1,26	
3	7,20	7,15	30,5	20,0	2,30	1544	1,26	

Таблица 2 – Результаты испытания образцов-балочек при температуре (минус 18±2) °С

№	Размеры образца-балочки, см			Расстояние между опорами L, см	Максимальное значение прогиба, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность при изгибе на растяжение, МПа	
	Ширина b	Высота h	Длина L				Отдельного образца	Среднее значение
Образцы-балочки 1 группа								
1	6,85	7,00	30,5	20,0	0,97	9033	8,07	9,24
2	7,00	7,00	30,5	20,0	0,71	11212	9,81	
3	7,00	7,05	30,5	20,0	1,16	11404	9,83	
Образцы-балочки 2 группа с имитацией трещины								
1	6,95	7,00	30,5	20,0	0,76	8577	7,56	8,25
2	7,15	7,00	30,5	20,0	1,08	10136	8,68	
3	7,00	7,00	30,5	20,0	0,66	9721	8,50	

Анализ результатов, представленных в таблицах 1 и 2 показал, что прочность на растяжение при изгибе образцов с трещиной примерно в 2 раза меньше, чем у образцов без трещины при температуре плюс 22±3 °С (соответствует весенне-осеннему периоду эксплуатации покрытия) и на 10 % меньше при температуре минус 18±2 °С (соответствует зимнему периоду эксплуатации покрытия).

Рекомендации по борьбе с внутренними и отраженными трещинами

Для предотвращения образования отраженных трещин, как следствия развития деформаций в слоях дорожных одежд под динамическим фактором транспортного нагружения необходимо учитывать механизм образования трещины [5], [10]:

1. Трещины, образовавшиеся как следствие дефектов основания (колея, просадки).
2. Трещины, образовавшиеся в слоях дорожной одежды в процессе ремонта конструкции.

При деформации основания земляного полотна и нижних слоев дорожной одежды необходимо выполнить полную разборку деформированных слоев и устройство новой конструкции дорожной одежды или переработку (методом холодной регенерации) деформированных слоев с перекрытием новым слоем покрытия [13], [12], [15].

В том случае, когда внутренние трещины образовались в результате выполнения ремонтных работ, необходимо уменьшить влияние концентрации напряжений на границах трещины на развитие деформаций в вышележащих слоях конструкции. Для уменьшения этого влияния необходимо:

1. Исключить наличие в основании трещин, заполненных неукрепленным материалом (песок, грязь, продукт износа шин).
2. Раскрыть трещины до ширины 15-20 мм и заполнить мастикой на всю глубину трещины.
3. Закрыть трещину геосинтетическим полотном или георешеткой уложенной на основание подгрунтованное битумной эмульсией с перекрытием трещины не менее 25 см в обе стороны от оси трещины.

По методике представленной выше испытаны образцы-балочки с имитацией внутренней трещины и прослойкой из геосинтетического материала Геосетка E'GRID 3030 L. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытания образцов-балочек с имитацией трещины и геосеткой

№	Размеры образца-балочки, см			Расстояние между опорами L, см	Максимальное значение прогиба, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность при изгибе на растяжение, МПа	
	Ширина b	Высота h	Длина L				Отдельного образца	Среднее значение
испытания при температуре плюс 22±3 °С								
1	7,00	7,10	30,50	20	2,17	2011	1,71	1,73
2	7,00	7,10	30,50	20	2,22	2057	1,75	
3	7,00	7,10	30,50	20	2,20	2039	1,73	
испытания при температуре минус 18±2 °С								
1	7,10	7,05	30,50	20	0,90	10084	8,57	8,71
2	7,10	7,05	30,50	20	1,01	11317	9,62	
3	7,00	7,05	30,50	20	0,82	9188	7,92	

Заключение

В результате выполненных исследований можно однозначно сказать, что наличие внутренние дефекты в многослойных дорожных покрытиях приводят к уменьшению предела прочности на растяжение конструкции. При положительных температурах (в весенне-летний период) прочность покрытия с внутренними дефектами значительно меньше прочности недеформированного покрытия, что в первую очередь связано с развитием пластических деформаций и деформаций, связанных с течением битума.

Для повышения трещиностойкости конструкции и повышению прочности многослойной системы на растяжение при изгибе, рекомендуется при ремонте покрытия укладывать прослойку из георешетки.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Хабаровского края (Соглашение № 50с/2021).

Funding

The reported study is supported by the Ministry of education and science of the Khabarovsk Territory (Contract № 50с/2021).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Дугельный, В.М. К вопросу анализа основных факторов, влияющих на износостойкость асфальтобетона и объемы продуктов его износа / В.М. Дугельный, А.Ю. Логунов, Е.Г. Воловченко // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта, 2013. -№4. -С. 99-104.
2. Каменчуков А. В. Исследование и моделирование процесса образования отраженных трещин в двухслойных асфальтобетонных системах / А. В. Каменчуков, И. С. Украинский // Транспортные сооружения, 2020 №3. DOI: 10.15862/07SATS320
3. Журавлев И.Н. Вопросы влияния повышенных динамических нагрузок на состояние дорожных одежд / И.Н. Журавлев // Colloquium-journal.- 2019.- № 22(46). - С. 50-53. - ISSN 2520-6990
4. Апестин В.К. О расхождении проектных и нормативных межремонтных сроков службы дорожных одежд / В.К. Апестин и др. // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2011. - № 1. - С. 18.

5. Ларина, Т.А. Метод оценки кинетики износа асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / Т.А. Ларина, Н.Р. Зубарев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. - 2019. - № 1 (19). - С. 5.
6. Александров А.С. Анализ причин колеобразования на покрытиях нежестких дорожных одежд и рекомендации по уменьшению этого явления / А.С. Александров, Т.В. Семенова, А.Л. Калинин // Вестник СибАДИ. 2019;16(6): 718–745. DOI: 10.26518/2071-7296-2019-6-718-745
7. Пилецкий, М.Э. Влияние транспортной нагрузки на качество ремонтных работ дорожных покрытий нежесткого типа с применением струйно-инъекционного метода / М.Э. Пилецкий, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков и др. // Academia. Архитектура и строительство. М., 2019. №1. С. 115-121.
8. Поздняков М.К. Исследование сопротивляемости асфальтобетона колеобразованию / М.К. Поздняков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 13-20.
9. Корочкин А.В. О динамическом воздействии транспортного средства на конструкцию дорожной одежды / А.В. Корочкин // Дороги и мосты, Вып. 33/1, 2015. - С. 98-104.
10. Лакей В.Н. Анализ причин возникновения трещин в дорожных покрытиях и критерии их трещиностойкости / В.Н. Лакей, Ю.В. Ленченкова // Матрица научного познания. 2019. № 4. С. 68-73.
11. Лопашук, С. В. Актуальные вопросы повышения качества выполнения ремонтных работ на автомобильных дорогах местного значения Дальневосточного федерального округа / С.В. Лопашук, А.В. Лопашук, В.В. Лопашук // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : международный сборник научных трудов. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. - №19. - С. 188-191
12. Илюхин А. В. Универсальный комплекс для испытаний дорожных покрытий / А. В. Илюхин, А. В. Марсов, А. М. Колбасин и др. // Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №6 (19).-М. 2013.
13. Вачнадзе К.И. Современные исследования по армированию дорожных конструкций геосинтетическими материалами / К.И. Вачнадзе // 77 международная научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ. Материалы V международной научно-практической конференции МАДИ «Инновационные технологии: пути повышения межремонтных сроков службы автомобильных дорог». 2019.
14. Углова, Е. В. Разработка эффективных решений ремонта дорожной одежды на городских магистралях / Е. В. Углова, Д. С. Васильев // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2015. - № 2, ч. 2. - С. 80-87. - [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_24132494_97055337.pdf. (дата обращения: 12.11.2021)
15. Бондарев, Б. А. Пути повышения долговечности дорожных одежд городских автомобильных дорог / Б. А. Бондарев, П. В. Сошнин, А. Б. Бондарев // Новые материалы и технологии в машиностроении. - 2005. - No. 4. - С. 28-29.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dugelny, V.M. K voprosu analiza osnovnykh faktorov, vliyayushchih na iznosostojkost' asfal'tobetona i ob'emnykh produktov ego iznosa [On the analysis of the main factors affecting the wear resistance of asphalt concrete and the volume of its wear products] / V.M. Dugelny, A. Yu. Logunov, E.G. Volovnenko // Vestnik Doneckoj akademii avtomobil'nogo transporta [Bulletin of the Donetsk Academy of Automobile Transport], 2013. -№4. -WITH. 99-104. [in Russian]
2. Kamenchukov A. V. Issledovanie i modelirovanie processa obrazovaniya otrazhennykh treshchin v dvuhslojnykh asfal'tobetonnykh sistemah [Research and modeling of the process of formation of reflected cracks in two-layer asphalt concrete systems] / A. V. Kamenchukov, I. S. Ukrainkiy // Transportnye sooruzheniya [Transport structures], 2020 No. 3. DOI: 10.15862/07SATS320 [in Russian]
3. Zhuravlev I.N. Voprosy vliyaniya povyshennykh dinamicheskikh nagruzok na sostoyanie dorozhnykh odezhd [Questions of the influence of increased dynamic loads on the condition of road pavements] / I.N. Zhuravlev // Colloquium-journal.- 2019.- № 22 (46). - P. 50-53. - ISSN 2520-6990 [in Russian]
4. Apestin V.K. O raskhozhenii proektnykh i normativnykh mezhremontnykh srokov sluzhby dorozhnykh odezhd [On the discrepancy between the design and standard overhaul life of road clothes] / V.K. Apestin et al. // Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli [Science and technology in the road industry]. - 2011. - No. 1. - P. 18. [in Russian]
5. Larina, T.A. etod ocenki kinetiki iznosa asfal'tobetonnykh pokrytij avtomobil'nykh dorog [Method for assessing the kinetics of wear of asphalt concrete pavements of highways] / T.A. Larina, N.R. Zubarev // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura [Automobile. Road. Infrastructure]. - 2019. - No. 1 (19). - P. 5. [in Russian]
6. Alexandrov A.S. Analiz prichin koleyeobrazovaniya na pokrytyakh nezhestkikh dorozhnykh odezhd i rekomendatsii po umen'sheniyu etogo yavleniya [Analysis of the causes of rutting on the surfaces of non-rigid road pavements and recommendations for reducing this phenomenon] / A.S. Alexandrov, T.V. Semenova, A.L. Kalinin // Vestnik SibADI [SibADI Bulletin]. 2019; 16 (6): 718-745. DOI: 10.26518/2071-7296-2019-6-718-745 [in Russian]
7. Piletsky, M.E. Vliyanie transportnoj nagruzki na kachestvo remontnykh rabot dorozhnykh pokrytij nezhestkogo tipa s primeneniem strujno-in'ekcionnogo metoda [Influence of transport load on the quality of repair work of non-rigid road surfaces using the jet-injection method] / M.E. Piletsky, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov et al. // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and construction]. М., 2019. No. 1. P. 115-121. [in Russian]
8. Pozdnyakov M.K. Issledovanie soprotivlyaemosti asfal'tobetona koleeobrazovaniyu [Investigation of the resistance of asphalt concrete to rutting] / M.K. Pozdnyakov // Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova [Vestnik BGTU im. V.G. Shukhov]. 2009. No. 3. P. 13-20. [in Russian]
9. Korochkin A.V. O dinamicheskom vozdejstvii transportnogo sredstva na konstrukciyu dorozhnoj odezhd [On the dynamic impact of a vehicle on the structure of pavement] / A.V. Korochkin // Dorogi i mosty [Roads and bridges], Vol. 33/1, 2015. -- P. 98-104. [in Russian]
10. Lackey V.N. Analiz prichin vznikoveniya treshchin v dorozhnykh pokrytyakh i kriterii ih treshchinostojkosti [Analysis of the causes of cracks in road surfaces and the criteria for their crack resistance] / V.N. Lackey, Yu.V. Lenchenkova // Matrica nauchnogo poznaniya [Matrix of scientific knowledge]. 2019. No. 4. P. 68-73. [in Russian]

11. Lopashuk, S.V. Aktual'nye voprosy povysheniya kachestva vypolneniya remontnyh rabot na avtomobil'nyh dorogah mestnogo znacheniya Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga [Topical issues of improving the quality of repair work on local highways in the Far Eastern Federal District] / S.V. Lopashuk, A.V. Lopashuk, V.V. Lopashuk // Dal'nij Vostok. Avtomobil'nye dorogi i bezopasnost' dvizheniya : mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov [Far East. Roads and traffic safety: an international collection of scientific papers]. - Khabarovsk: Pacific Publishing House. state university, 2019. - №19. - P. 188-191. [in Russian]

12. Ilyukhin A. V. Universal'nyj kompleks dlya ispytaniy dorozhnyh pokrytij [Universal complex for testing road surfaces] / A. V. Ilyukhin, V. I. Marsov, A. M. Kolbasin et al. // Internet-zhurnal «Naukovedenie» [Internet journal "Science"]. 2013 №6 (19) [Electronic resource] .- M. 2013. [in Russian]

13. Vachnadze K.I. Sovremennye issledovaniya po armirovaniyu dorozhnyh konstrukcij geosinteticheskimi materialami [Modern research on the reinforcement of road structures with geosynthetic materials] / K.I. Vachnadze // 77 mezhdunarodnaya nauchno-metodicheskaya i nauchno-issledovatel'skaya konferenciya MADI. Materialy V mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii MADI «Innovacionnye tekhnologii: puti povysheniya mezhremontnyh srokov sluzhby avtomobil'nyh dorog» [77 international scientific-methodical and research conference MADI. Materials of the V international scientific and practical conference MADI "Innovative technologies: ways to increase the overhaul life of highways."] 2019. [in Russian]

14. Uglova, E. V. Razrabotka effektivnyh reshenij remonta dorozhnoj odezhdy na gorodskih magistralyah [Development of effective solutions for the repair of road pavements on city highways] [Electronic resource] / E. V. Uglova, D. S. Vasiliev // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Inzhenernyj vestnik Dona» [Electronic scientific journal "Engineering Bulletin of the Don"]. 2015. - No. 2, part 2. - P. 80-87. - URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_24132494_97055337.pdf. (accessed: 12.11.2021) [in Russian]

15. Bondarev, B.A. Puti povysheniya dolgovechnosti dorozhnyh odezhd gorodskih avtomobil'nyh dorog [Ways of increasing the durability of road clothes of urban highways] / B.A. Bondarev, P.V. Soshnin, A.B. Bondarev // Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii [New materials and technologies in mechanical engineering]. - 2005. - No. 4. - P. 28-29. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.006>

ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ В ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОРТАЛОВ

Научная статья

Карев А.Н.^{1,*}, Федосин С.А.²

^{1,2} Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Россия

* Корреспондирующий автор (alekseykarev[at]list.ru)

Аннотация

Текст статьи посвящён проблеме интеграции и взаимосогласованности информационных систем (ИС), где основополагающую роль играет их интероперабельность, под ней мы понимаем способность ИС взаимодействовать с другими системами, в свою очередь совместимость систем на структурном уровне означает способность к структурному согласованию их сущностей, отсюда для успешной интеграции информационных систем необходимо описать модели структур этих систем и правила их взаимодействия для дальнейшего использования. Также рассмотрена проблема совместимости информационных систем и разобран подход, который позволил бы решить как проблемы создания больших ИС, так и проблемы интеграции систем в целом. Построена модель интероперабельности ИС по двум ее главным аспектам: организационной и технической.

Ключевые слова: информационные технологии, интеграция, семантика, интероперабельность, информационные системы.

INTEROPERABILITY IN THE INTEGRATION OF INFORMATION PORTALS

Research article

Karev A.N.^{1,*}, Fedosin S.A.²

^{1,2} Ogarev National Research Mordovian State University, Saransk, Russia

* Corresponding author (alekseykarev[at]list.ru)

Abstract

The article discusses the problem of integration and mutual consistency of information systems (IS), where their interoperability plays a fundamental role, by it we mean the ability of IS to interact with other systems, in turn, the compatibility of systems at the structural level means the ability to structurally coordinate their entities; after this, for the successful integration of information systems it is necessary to describe the models of the structures of these systems and the rules of their interaction for their further use. The study also examines the problem of compatibility of information systems and analyzes an approach that would solve both the problems of creating large IS and the problems of integrating systems as a whole. A model of IP interoperability is constructed for its two main aspects: organizational and technical.

Keywords: information technologies, integration, semantics, interoperability, information systems.

Введение

Развитие информационных технологий [8] привело к созданию большого количества информационных систем (ИС), используемого различными предприятиями для автоматизации их работы. Поскольку объём обрабатываемой информации огромен и у каждой фирмы существует своя ИС, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, поиск и выдачу информации, необходимой в процессе принятия решений задач из любой области. Такая система – это взаимосвязанная совокупность средств, методов, используемых для хранения, обработки и выдачи информации в интересах достижения поставленной цели.

На сегодняшний день растёт зависимость организаций от информационных технологий [1], причем для его успешного роста важен не столько набор приложений, автоматизирующих отдельные функции, сколько интеграция [9] и взаимосогласованность информационных систем и приложений [2].

Основная часть

При интеграции информационных систем основополагающую роль играет свойство интероперабельности – способность ИС взаимодействовать с другими информационными системами [6]. Такое взаимодействие может быть выражено в форме обмена данными, распределенного выполнения поисковых запросов, согласованного изменения базы данных и т.д. Необходимость обеспечения совместимости возникает при связывании бизнес-процессов предприятий-партнеров, согласовании работы, существующей ИС с принятыми стандартными решениями.

Проблема обеспечения совместимости ИС является фундаментальной. Это актуально как для устаревших систем, которые необходимо связать с вновь созданными (или, по крайней мере, иметь возможность использовать их базы данных), так и для проектируемых хранилищ данных, в которых необходимо предусмотреть возможность реализации взаимодействия с другими ИС в будущем, когда требования к ним изменятся.

Определение, которое мы приняли для взаимодействия ИС отражает способность к обмену информацией, к примеру в виде сообщений. В процессе разработки модели важно учитывать, что с точки зрения семиотики сообщение может рассматриваться на трех уровнях: синтаксическом, семантическом и прагматическом. Важным для нас является физический уровень, на котором происходит обмен физическими сигналами между различными ИС и их компонентами. Таким образом при построении модели интероперабельности (см. рисунок 1) мы будем выделять два главных ее аспекта: организационный и технический [7].

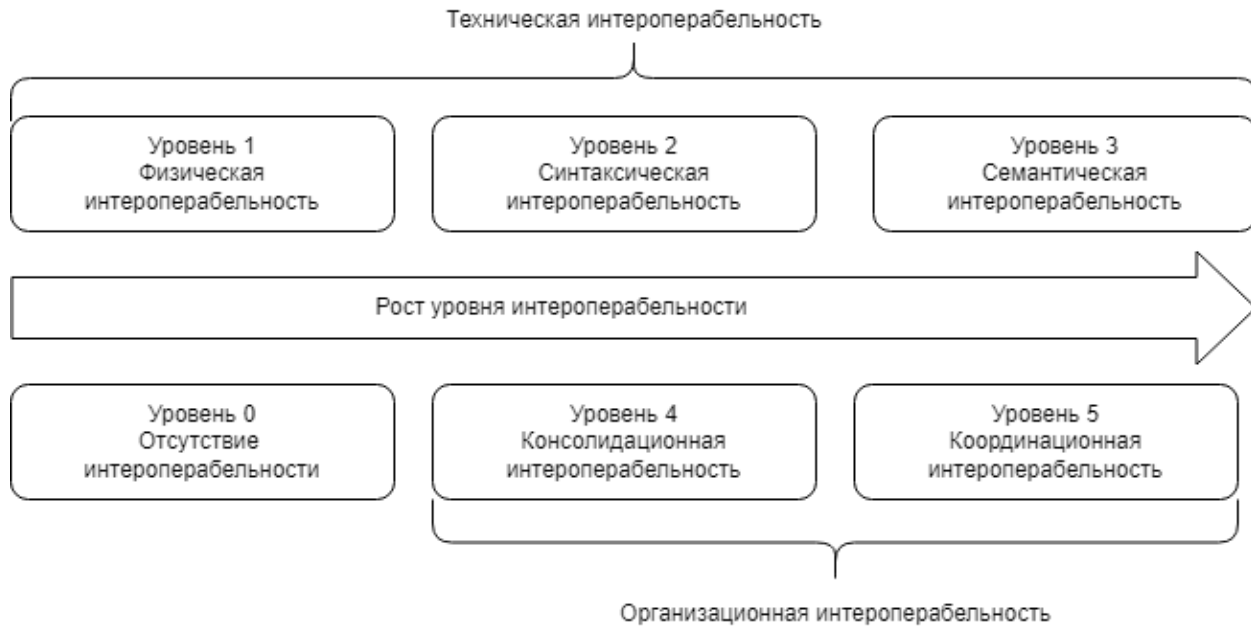


Рис. 1 – Эталонная модель интероперабельности

На прагматических аспектах взаимодействия – фокусируется организационный уровень, именно здесь согласовываются бизнес-цели и заключаются соглашения о сотрудничестве между административными органами, которые хотят обмениваться информацией, хотя у них разные внутренние структуры и процессы. Организационная совместимость, прежде всего, направлена на удовлетворение требований сообщества пользователей и достигается не за счет применения стандартов, а за счет применения нормативно-правовых документов [6].

Форматы передаваемой информации описывает технический уровень, включая в себя такие ключевые аспекты, как службы связи, открытые интерфейсы, интеграция данных и обмен данными, службы доступности и защиты информации. Именно за счет использования стандартных протоколов связи типа TCP/IP достигается техническая интероперабельность [6].

Технология совместимых систем основана на промежуточном уровне систем согласованной информационной архитектуры, которые определяют возможность совместного использования, совместной деятельности, взаимодействия «готовых» информационных компонентов для решения прикладных задач в распределенной вычислительной среде. Этот уровень расположен над сетевой архитектурой, что является необходимой предпосылкой для такой совместной деятельности компонентов, при которой обеспечивается их взаимосвязь.

Информационная архитектура систем основана на концепции промежуточного уровня, которая включает в себя услуги и средства поддержки глобального пространства объектов, их жизненного цикла и совместимости [12]. Этот уровень находится между операционной системой (включая управление компьютерной сетью) и прикладными системами.

Информационная архитектура систем формируется на базе объектной технологии и принципов совместимости компонентов, разработанных консорциумом Object Management Group (OMG) [13]. Цель OMG – создать согласованную информационную архитектуру, основанную на объектных технологиях и совместимости доступных спецификаций интерфейсов для информационных ресурсов. Эта архитектура должна обеспечивать повторное использование компонентов и их совместимость.

Информационные ресурсы рассматриваются при проектировании систем независимо от программно-технических платформ их реализации и физического размещения в пространстве.

Инфраструктура систем определяется в соответствии с концепцией OSE (Open Systems Environment). OSE – полный набор интерфейсов, сервисов, форматов, а также индивидуальные аспекты, совместимость и/или переносимость приложений (программ), данных, людей в соответствующих спецификациях базовых стандартов и профилей Информационные технологии.

Развитие электронных коммуникационных и компьютерных сетей открывает возможности и создает предпосылки для многоуровневой интеграции с предприятиями и организациями. По мере развития предприятий и организаций возникает необходимость объединить свои бизнес-процессы и интегрировать свои автоматизированные информационные системы. Как правило, расширение диапазона IP приводит к редизайну. Повторно используются только знания экспертов в области.

Задача разработки и интеграции ИС актуальна как в организации или компании, так и в глобальном масштабе.

В качестве подхода, который позволил бы решить как проблемы создания больших ИС, так и проблемы интеграции систем, используется методология создания интероперабельных систем. При использовании этого подхода необходимо обеспечить однозначность отображения сущностей систем и отношений между ними, т.е. интероперабельность компонентов ИС. В общем случае различают интероперабельность систем: структурную и семантическую. Интероперабельность систем [7] на структурном уровне означает способность к структурному согласованию их сущностей. Данный аспект связан с обеспечением единого понимания структур данных взаимодействующими ИС. Семантическая интероперабельность характеризуется способностью к поведенческому согласованию. Эта сторона интероперабельности требует использования онтологического подхода [10], [11] и метаданных, разработанных на его

основе. Таким образом, для успешной интеграции ИС необходимо описать модели структур этих систем и правила их взаимодействия для дальнейшего их использования, помимо этого с развитием инфраструктуры, ростом скорости передачи информации в сетях возрастает роль распределенной обработки данных. Это способствует повышению эффективности использования вычислительных, информационных, интеллектуальных ресурсов систем, где сущность распределенной обработки данных заключается в том, что пользователь получает возможность работать с сетевыми службами и прикладными процессами, расположенными в нескольких взаимосвязанных системах.

Технически интероперабельность означает возможность компонентов (объектов) обмениваться заявками, так что принимающий заявку объект может ее интерпретировать и вернуть результат, который может обработать объект, пославший заявку. Объекты интероперабельны, если методы одного объекта запрашивают сервисы другого. Интероперабельность обеспечивает возможность создания систем из неоднородных, распределенных компонентов на основе однородно специфицированных интерфейсов. В системе компоненты взаимодействуют между собой при решении прикладной задачи посредством обмена заявками.

Заключение

Таким образом, универсальные подходы по обеспечению интероперабельности информационных систем на семантическом уровне - отсутствуют. Решения определенных задач являются индивидуальными и предусматривают ручное построение отображений между их сущностями, реализуемое в средствах преобразования данных.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Карев А. Н. Обзор методов интеграции информационных порталов / А. Н. Карев // Наукосфера. – 2020. – № 11-1. – С. 147-150.
2. Карев А. Н. Варианты построения интеграционного решения информационных порталов / А. Н. Карев // Modern Science. – 2020. – № 11-1. – С. 402-405.
3. Карев А. Н. Обзор методов интеграции информационных порталов / А. Н. Карев // Наукосфера. – 2020. – № 11-1. – С. 147-150.
4. Морозова О.А. Интеграция корпоративных информационных систем / О. А. Морозова. – М.: Финансовый университет, 2014. – 140 с.
5. Бин Д. XML для проектировщиков. Повторное использование и интеграция / Д. Бин. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004. – 256 с.
6. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. Москва, Стандартинформ, 2014. 12 с.
7. Батоврин В. К. Управление интероперабельностью / В. К. Батоврин // Управление информационной структурой организационно основе технологии открытых систем. Сб. трудовмежд. науч.-практ. семинара – Магнитогорск: МаГУ, 2008. – С. 11-13.
8. Башмаков А. И. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. / И. А. Башмаков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с.
9. Бова В. В. О вопросе интеграции ресурсов знаний на основе анализа и синтеза онтологий / В. В. Бова // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2014. – № 3 (18). – С. 14-22.
10. Скворцов Н. А. Вопросы согласования неоднородных онтологических моделей и онтологических контекстов / Н. А. Скворцов // Онтологическое моделирование. – 2008. – С. 149-166.
11. Лукашевич Н. В. Онтологии для автоматической обработки текстов: описание понятий и лексических значений / Н. В. Лукашевич // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: труды Международной конференции «Диалог 2006». – М.: Изд-во РГГУ, 2006. – С. 138-142.
12. Ладыженский Г. А. Middleware: модель сервисов распределенных систем / Г. А. Ладыженский. – [Электронный ресурс]. URL: <http://Jet Infosystems> (дата обращения: 12.11.2021)
13. Калиниченко Л. А. Архитектуры и технологии разработки интероперабельных систем / Л. А. Калиниченко. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 12.11.2021)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Karev A. N. Obzor metodov integracii informacionnyh portalov [Review of methods of integration of information portals] / A. N. Karev // Naukosfera [Naukosphere]. – 2020. No. 11-1. – P. 147-150. [in Russian]
2. Karev A. N. Varianty postroeniya integracionnogo resheniya informacionnyh portalov [Options for building integration solutions information portals] / A. N. Karev // Modern Science. – 2020. No. 11-1. – P. 402-405. [in Russian]
3. Karev A. N. Obzor metodov integracii informacionnyh portalov [An overview of the methods of integration of information portals] / A. N. Karev // Naukosfera [Narcosphere]. - 2020. - No. 11-1. - pp. 147-150. [in Russian]
4. Morozova O.A. Integracija korporativnyh informacionnyh sistem [Integration of corporate information systems] / O. A. Morozova. - M.: Financial University, 2014. - 140 p. [in Russian]
5. Bin D. XML dlja proektirovshhikov. Povtornoe ispol'zovanie i integracija [XML for designers. Reuse and integration] / D. Bin. - M.: KUDITS-OBRAZ, 2004. - 256 p. [in Russian]
6. GOST R 55062-2012. Informacionnye tehnologii (IT). Sistemy promyshlennoj avtomatizacii i ih integracija. Interoperabel'nost'. Osnovnye polozhenija [GOST R 55062-2012. Information technology (IT). Industrial automation systems and their integration. Interoperability. The main provisions]. Moscow, Standartinform, 2014. 12 p. [in Russian]

7. Batovrin V. K. Upravlenie interoperabel'nost'ju [Interoperability management] / V. K. Batovrin // Upravlenie informacionnoj strukturoj organizacionno osnove tehnologii otkrytyh sistem [Information structure management based on open systems technology]. Sb. trudovmezhd. nauch.-prakt. Seminar - Magnitogorsk: MaGU, 2008. - pp. 11-13. [in Russian]
8. Shoes A. I. Intellektual'nye informacionnye tehnologii [Intelligent information technologies]: Proc. manual. / I. A. Bashmakov. – M.: Publishing house MGTU im. N.Uh. Bauman, 2005. – 304 p. [in Russian]
9. Bova V. V. O voprose integracii resursov znaniy na osnove analiza i sinteza ontologij [On the question of the integration of knowledge resources based on the analysis and synthesis of ontologies] / V. V. Bova // Informatika, vychislitel'naja tehnika i inzhenernoe obrazovanie [Informatics, computing and engineering education]. – 2014. – № 3 (18). – Pp. 14-22. [in Russian]
10. Skvortsov N. A. Voprosy soglasovanija neodnorodnyh ontologicheskikh modelej i ontologicheskikh kontekstov [Issues of coordination of heterogeneous ontological models and ontological contexts] / N. A. Skvortsov // Ontologicheskoe modelirovanie [Ontological modeling]. - 2008. - pp. 149-166. [in Russian]
11. Lukashevich N. V. Ontologii dlja avtomaticheskoi obrabotki tekstov: opisanie ponjatij i leksicheskikh znachenij [Ontology for automatic text processing: concepts and lexical meanings] / N. V. Lukashevich // Komp'juternaja lingvistika i intellektual'nye tehnologii: trudy Mezhdunarodnoj konferencii «Dialog 2006» [computational linguistics and intellectual technologies: proceedings of the International conference "Dialogue of 2006"]. – M.: Publishing house RGGU, 2006. – P. 138-142. [in Russian]
12. Ladyzhenskaya, G. A. Middleware: model' servisov raspredelennyh sistem [Middleware: model services distributed systems] / G. A. Ladyzhenskaya. – [Electronic resource]. URL: <http://Jet Infosystems> (accessed: 12.11.2021) [in Russian]
13. Kalinichenko L. A. Arhitektury i tehnologii razrabotki interoperabel'nyh sistem [Architectures and technologies of development of interoperable systems] / L. A. Kalinichenko. [Electronic resource]. (accessed: 12.11.2021) [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.007>

СРАВНЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ

Научная статья

Курмаев Т.И.*

ORCID: 0000-0002-2327-8246,

Московский Университет имени С.Ю. Витте, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (timur95trigan[at]yandex.ru)

Аннотация

Интернет вещей представляет собой стремительно развивающуюся концепцию передачи и сбора данных между умными устройствами. Область применения этой концепции имеет широкий спектр: умные дома, здравоохранение, транспорт, логистика и др. С каждым годом количество подключенных устройств увеличивается и ожидается, что в течение следующих десяти лет это количество достигнет нескольких миллиардов. Вместе с этим возникает проблема передачи данных по беспроводным сетям, между различными по своей архитектуре и возможностям, устройствами.

В данной статье представлен сравнительный анализ и оценка производительности протоколов передачи данных HTTP и MQTT на основе пропускной способности и размера сообщения. Протокол MQTT показал наилучшие результаты.

Ключевые слова: интернет вещей, передача данных, протоколы передачи данных, HTTP, MQTT.

A COMPARISON OF DATA TRANSFER PROTOCOLS IN THE INTERNET OF THINGS

Research article

Kurmaev T.I.*

ORCID: 0000-0002-2327-8246,

Witte Moscow State University, Moscow, Russia

* Corresponding author (timur95trigan[at]yandex.ru)

Abstract

The Internet of Things is a rapidly developing concept of data transmission and collection between smart devices. The scope of application of this concept has a wide range: smart homes, healthcare, transport, logistics, etc. Every year the number of connected devices increases and it is expected that over the next ten years this number will reach several billion. At the same time, there is a problem of data transmission over wireless networks between devices that differ in their architecture and capabilities.

This article presents a comparative analysis and evaluation of the performance of the HTTP and MQTT data transfer protocols based on the bandwidth and message size. The MQTT protocol demonstrates the best results.

Keywords: Internet of Things, Data Transmission, Data Transmission Protocols, HTTP, MQTT.

Введение

Скачок в развитии вычислительных и коммуникационных технологий за последние годы оказал влияние на появление носимых устройств, беспилотных автомобилей и платформ, которые агрегируют от них данные. Концепция взаимодействия таких устройств друг с другом или с внешней средой называется Интернетом Вещей. Впервые данный термин ввел основатель исследовательской группы Auto-ID Labs Кевин Эштон в 1999 году. Результатом работы исследовательской группы Auto-ID Labs было изобретение технологии RFID [1]. Суть работы RFID-меток заключается в том, что посредством использования радиосигналов на них можно записывать информацию, которую позже можно считать специальным устройством и передать по сети Интернет.

Появление технологии разработки микроэлектромеханических систем (МЭМС) [2, С. 7] привело к уменьшению размеров датчиков передачи информации, что, в свою очередь, повлияло на количество подключаемых к Интернету Вещей устройств: к 2008 году их количество превысило население земли и по прогнозам к 2030 году составит более 24,1 миллиардов устройств [3].

Архитектура Интернета Вещей представляет собой четыре основных уровня:

- Физический уровень
- Сетевой уровень
- Сервисный уровень
- Прикладной уровень

Из-за своей неоднородности связь Интернета Вещей является самой важной функцией этой концепции. Именно поэтому для неё были разработаны различные протоколы передачи данных, среди которых можно выделить основные:

1) HTTP - Протокол передачи гипертекста Hypertext Transfer Protocol (HTTP) представляет собой наиболее распространенный способ передачи ресурсов в Интернете [4]. HTTP определяет формат и назначение сообщений, которыми обмениваются Web-компоненты, такие как клиенты и серверы. и способ интерпретации полей каждой строки сообщения.

2) CoAP - Концепция CoAP основана на имитации и замене тяжелых элементов HTTP и использования легкого эквивалента для Интернета Вещей. HTTP требует более мощных и ориентированных на сервисы систем [5, С. 1]. Возможности CoAP можно суммировать следующим образом:

- Схож с HTTP
- Безопасность реализована с помощью DTLS
- Асинхронный обмен сообщениями

- Работает поверх UDP

3) XMPP – Протокол с открытым исходным кодом для обмена сообщениями в режиме реального времени. Этот коммуникационный протокол Интернета вещей для промежуточного программного обеспечения, ориентированного на сообщения, основан на языке XML. Это позволяет осуществлять обмен структурированными, но расширяемыми данными в режиме реального времени между двумя или более сетевыми устройствами [6].

4) MQTT - Телеметрический транспорт очереди сообщений (Message Queue Transport Telemetry) - это протокол обмена сообщениями, предназначенный для работы на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами [7]. Протокол использует гибкий механизм маршрутизации и асинхронную связь поверх стека TCP/IP, основанную на парадигме публикации-подписки. MQTT состоит из трех основных компонентов: подписчика, издателя и брокера. Подписчик может повторно запрашивать и получать сообщения от издателя. Издатель связывается с брокером, чтобы отправлять сообщения из определенной темы своим подписчикам. Наконец, брокер получает сообщения от издателей и пересылает их подписчикам, заинтересованным в данной теме.

Исследование

Целью данной работы являлось исследование протоколов HTTP и MQTT внутри беспроводной сети, сравнение скорости передачи данных, их объем и пропускная способность шлюза. Данные протоколы были выбраны для сравнения поскольку удовлетворяют запросам реализации умного помещения при использовании выбранного оборудования. Однако, важно отметить, что у каждого из этих протоколов есть ряд ограничений в контексте применения их для Интернета Вещей:

- HTTP протокол не подходит для промышленных решений, где нужно совершать распределенные вычисления с высокими нагрузками.
- HTTP не содержит информации о навигации передаваемых ресурсов, что затрудняет автоматизацию процессов на сервере и его анализ.
- MQTT разработан для сред с низкой пропускной способностью, что делает его совсем не гибким. По умолчанию в спецификации определено всего пять сообщений об ошибках. Возникновение иных ошибок может привести к сбросу или потере соединения без последующего информирования об этом.
- MQTT не подходит для систем с кратковременной работой, когда информация может передаваться всего несколько раз в сутки (Например, показатели счетчиков ЖКХ).

В качестве шлюза Интернета Вещей было выбрано устройство Raspberry PI 4 Model B, которое представляет собой мини-компьютер с возможностью подключения периферийных устройств по USB, GPIO, RS485, RS232, CanBus и I-Wire [8]. Ключевой особенностью этого устройства является его гибкость настраивания и возможность передачи данных по беспроводной сети.

В состав отправляемого сообщения входит информация об идентификационном номере устройства, время отправки сообщения и массив значений. В этом массиве содержатся показатели температуры, влажности, давления и углекислого газа. Данные показатели были выбраны из-за востребованности мониторинга таких значений при реализации умных помещений. Объектный вид отправляемого сообщения представлен на рисунке 1.

```

device_id:"0e3ch1d0-1504-4325-432f-6643df61319814",
date_time:"2020-05-21T26:53:16Z",
values:[
  {Type:"float",Name:"humidity",Value:"24.281837"},
  {Type:"float",Name:"CarbonDioxide",Value:"66.95458"},
  {Type:"float",Name:"Pressure",Value:"119.7031"},
  {Type:"float",Name:"Temperature",Value:"27.708824"},
]

```

Рис. 1 – Объектный вид отправляемого сообщения

Идентификационный номер представляет собой набор символов, который позволит систематизировать полученные данные и упростит их поиск в базе данных. Дата представлена согласно стандарту ISO 8601-2 [9]. Массив значений представляет собой массив объектов, внутри которого для каждого из датчиков определен тип данных передаваемого значения, его название и само значение. Все значения отправляемого сообщения являются строками. В контексте исследования данное сообщение представляет собой полученную информацию от конечных датчиков, необходимую для отправки от шлюза Интернета Вещей на сервер.

Для исследования выбранных протоколов было создано два приложения на NodeJS. Первое представляет собой обычное клиент-серверное приложение с возможностью отправки JSON-объекта от устройства на сервер. Его реализация заключается в написании API, которое будет принимать конечные запросы, и клиентского приложения, которое будет запущено на Raspberry PI 4 Model B, и с определенным интервалом будет отправлять сообщения на сервер.

Второе приложение представляет собой MQTT брокер с использованием внешней NPM библиотеки – Mosca [10]. MQTT издатель и подписчик данных с использованием внешней NPM библиотеки – MQTT.JS [11]. Его реализация заключается в написании брокера, его настроек и определения событий, который срабатывают при получении

сообщения. Также на стороне шлюза был реализован издатель, который формировал отправляемое сообщение в тип данных Buffer и публиковал его. Подписчик в свою очередь реагировал на каждое опубликованное сообщение.

В ходе исследования было проведено два эксперимента. В первом случае сообщение отправлялось 1 раз в течении 10 секунд на протяжении нескольких минут. На основе этих данных рассчитывались средние показатели для HTTP и MQTT протоколов. Во втором случае вид отправляемого сообщения был изменен. Массив значений, который ранее содержал лишь четыре записи с информацией от датчиков, был преобразован в массив значений, который содержал в себе десять массивов с четырьмя значениями. Таким образом исследовалось влияние увеличения исходной информации при отправке данных. Пропускная способность рассчитывалась для десяти сообщений по формуле:

$$Q = \frac{I}{T}, \quad (1)$$

где I – информационный объем, а T – время передачи данных. Результаты исследования отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования

Протокол	Размер одного сообщения, Байт	Размер десяти сообщений, Байт	Средняя скорость передачи данных, Мс	Формат данных	Пропускная способность, Байт/мс
HTTP	405	4221	135	JSON	31
MQTT	327	3917	27	Buffer	145

Заключение

На сегодняшний момент Интернет Вещей поддерживает десятки протоколов передачи данных, однако каждый из них предрасположен для определенных условий. В данном исследовании было проведено сравнение передачи данных от шлюза Интернета Вещей на сервер, при условии беспроводной передачи данных. Для этого использовались протоколы HTTP и MQTT.

Основываясь на результатах этого исследования можно определить, что протокол MQTT показал наилучшие результаты: меньшую скорость передачи данных при схожем объеме данных с HTTP, а также имеет большую пропускную способность, что определяет его как наиболее релевантный выбор для реализации проекта умного помещения при текущих условиях.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Roberty M. History of RFID / M. Roberty // RFID Journal – 2005 – [Electronic resource]. URL: <https://www.rfidjournal.com/the-history-of-rfid-technology> (accessed: 01.12.2021)
2. Beeby S. MEMS Mechanical Sensors / S. Beeby. - ARTECH HOUSE – 2004, 281 p
3. Wegner P. IoT Platform Companies Landscape 2021/2022: Market consolidation has started. / P. Wegner Wegner P. // IoT Analytics –2021 – [Electronic resource] URL: <https://iot-analytics.com/iot-platform-companies-landscape/> (accessed: 03.12.2021)
4. Benjamin D. HTTP 2.0 Specification / D. Benjamin // W3 – 1995 – [Electronic resource]. URL: <https://www.w3.org/MarkUp/html-spec/> (accessed: 05.12.2021)
5. Naik N. Choice of effective messaging protocols for iotsystems: Mqtt, coap, amqp and http / N. Naik // Systems Engineering Symposium (ISSE), 2017 IEEE International. IEEE, 2017, pp. 1–7.
6. Saint-Andre P. XMPP Specification / P. Saint-Andre // XMPP Official documentation –2021 – [Electronic resource]. URL: <https://xmpp.org/> (accessed: 05.12.2021)
7. Banks A. MQTT version 5 – Introduced 2019 : OASIS Standard / A. Banks and R. Gupta.
8. Configuration of Raspberry PI 4 Model B // Raspberry PI Official documentation of product–2021– [Electronic resource]. URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/configuration.html> (accessed: 06.12.2021)
9. ISO 8601-2 Standard. International date and time standard – Introduced 2019 : International Organization for Standardization
10. Collina M.. Mosca broker / M. Collina // NPM Package–2021 – [Electronic resource]. URL: <https://www.npmjs.com/package/mosca> (accessed: 12.12.2021)
11. Collina M. MQTT.JS Library / M. Collina // NPM Package–2021 – [Electronic resource]. URL: <https://www.npmjs.com/package/mqtt> (accessed: 12.12.2021)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.008>

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СЫРЦА КВАРЦЕВОЙ КЕРАМИКИ НА СПЕКАНИЕ

Научная статья

Миронова Е.В.^{1,*}, Харитонов Д.В.^{2,3}, Анашкина А.А.³

^{1,2,3} Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А.Г. Ромашина, Обнинск, Россия;

^{2,3} Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

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

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментов по исследованию влияния модифицирования сырца кварцевой керамики с помощью кремнезоля и продукта МФСС-8 на свойства получаемого при обжиге материала. В ходе работы определяли открытую пористость, предел прочности при трехточечном изгибе, а также диэлектрические свойства. Показано, что введение кремнийорганического вещества в сырец позволяет интенсифицировать процесс спекания. Способ позволяет получать кварцевую керамику с меньшей пористостью и более высокой прочностью при режиме обжига, используемого для изделий из кварцевой керамики без введения добавок в сырец. При сохранении основных свойств керамику можно получить обжигом при температурах на 100-150 °С более низких. Кроме того, выявлен положительный эффект в виде снижения усадок при обжиге модифицированного сырца, что можно использовать для формования заготовок с меньшим припуском.

Ключевые слова: кварцевая керамика, спекание, открытая пористость, модифицирование сырца.

ON THE INFLUENCE OF MODIFICATION OF RAW QUARTZ CERAMICS ON SINTERING

Research article

Mironova E.V.^{1,*}, Kharitonov D.V.^{2,3}, Anashkina A.A.³

^{1,2,3} Obninsk Research and Production Enterprise Technologiya named after A.G. Romashin, Obninsk, Russia;

^{2,3} D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

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

Abstract

The article presents the results of experiments on the study of the influence of modification of raw quartz ceramics using silica and the MFSS-8 product on the properties of the material obtained during firing. The study determines the interconnected porosity, the tensile strength at three-point bending, as well as dielectric properties. It is shown that the introduction of organosilicon into the raw material makes it possible to intensify the sintering process. The method makes it possible to obtain quartz ceramics with lower porosity and higher strength via the firing method used for quartz ceramic products without introducing additives into the raw material. While maintaining the basic properties, ceramics can be obtained by firing at temperatures 100-150 °C lower. In addition, the study identifies a positive effect in the form of a reduction in shrinkage during firing of modified raw materials, which can be used for forming blanks with a smaller allowance.

Keywords: quartz ceramics, sintering, open porosity, modification of raw materials.

Введение

Кварцевая керамика одна из наиболее востребованных видов керамических материалов, которые используются в различных отраслях промышленности. Из неё изготавливают различные огнеупорные, конструкционные, радиопрозрачные изделия: тигли, элементы запорной арматуры, теплозащитные элементы, головные оболочки и радиопрозрачные вставки для летательных аппаратов и ракетно-космической техники [1], [2], [3]. Этот тип керамики используется сравнительно недавно, всего чуть больше полувека. Впервые термин «кварцевая керамика» был введен в 1967 [4]. Поэтому масса научных вопросов в области технологии синтеза остаются актуальными.

Кварцевая керамика обладает рядом уникальных положительных свойств: высокая термостойкость, сохранение диэлектрических характеристик в широком диапазоне температур, низкий температурный коэффициент линейного расширения, низкая теплопроводность, - позволяющие применять в качестве конструкционного материала для радиопрозрачных высоконагруженных элементов летательных аппаратов. Недостатком данного материала является наличие открытой пористости от 7 до 12% [5], [6], [7]. Изделия из кварцевой керамики, применяемые в отечественной отрасли самолето- и ракетостроения, требуют специальных влагозащитных покрытий, так как из-за наличия открытых пор может происходить поглощение воды и изменение диэлектрических характеристик [2].

Наиболее простой способ получения изделий из кварцевой керамики – шликерное литье в пористые формы с получением сырца и последующим обжигом [8], [9]. Открытых пор будет тем меньше, чем выше плотность упаковки частиц сырца. Плотность сырца можно увеличить при получении исходной более мелкодисперсной и плотной суспензии, однако это будет оказывать существенное негативное влияние на литейные свойства шликера [9]. Можно рассмотреть способ введения добавки на стадии сырца. Имея достаточно плотный сырец кварцевой керамики можно наполнить его капиллярнопоровую структуру кремнийсодержащим веществом. Для получения плотных сырых заготовок необходим высококонцентрированный шликер, технология получения такого шликера описана в [10]. В качестве пропитывающего материала может быть использован раствор кремнийорганической смолы или кремнезоль. При обжиге кремнийорганические молекулы будут подвергаться термическому разложению и при достаточном доступе кислорода образовывать частицы двуокиси кремния. В качестве наполняющего вещества можно использовать метилфенилспироксид, поскольку он содержит высокую долю кремния и кислорода. Кремнезоль также при термообработке будет давать частицы SiO₂. Образованные частицы в процессе обжига будут способствовать спеканию материала за счет их массопереноса в зоны контакта частиц сырца. Для твердофазного спекания механизм переноса вещества за счет различий в кривизне поверхностей частиц и различий в упругости пара в разных частях системы описан

в [11, С. 247-254]. Следует полагать, что в системе модифицированного сырца будет происходить перенос вещества по аналогичному механизму. Вследствие этого будет снижаться усадка при обжиге керамики.

Цель работы – проверить влияние введения в объем сырца кварцевой керамики веществ, образующих при термообработке двуокись кремния, на спекание. В ходе работы необходимо выполнить следующие задачи: осуществить пропитку сырца кварцевой керамики, провести термообработку модифицированного сырца, определить изменение пористости материала при различных температурах термообработки; определить более подходящую модифицирующую добавку; проверить влияние модифицирующей добавки на прочность кварцевой керамики, термообработанной при различных температурах; проверить влияние модифицирующей добавки на диэлектрическую проницаемость кварцевой керамики.

Экспериментальная часть

Образцы сырца кварцевой керамики были получены путем литья шликера из кварцевого стекла в гипсовые формы. Исходные параметры заготовок: плотность $1,92 \text{ г/см}^3$, пористость 13%. Часть была использована в качестве контрольной партии. Другую часть образцов пропитывали кремнеземом, после чего проводили сушку и определяли привес. Привес был незначительный, поэтому для насыщения сырца дополнительным количеством диоксида кремния пропитку повторили несколько раз. После четвертой пропитки было определено, что привес составил 0,3-0,4 %. Подготовленные образцы подвергали термообработке в диапазоне температур от 1000 до 1250 °С с выдержкой по 3 часа.

Часть заготовок подвергались пропитке ацетоновым раствором метилфенилспироксилоксана. После пропитки сырца отвердили олигомер при температуре его полимеризации – 375 °С, определили привес и плотность, пористость. Содержание пропитывающего раствора в сырце в среднем составляло 5,3%, отвержденного – 2,5%. Подготовленные образцы подвергали термообработке в диапазоне температур от 1000 до 1250 °С с выдержкой по 3 часа, после обжига – содержание сухого остатка составляло 1,3%. Расчетный выход диоксида кремния из продукта МФСС-8 при четырех повторяющихся циклах в молекуле составляет 54%, в реальных растворах число циклов в молекуле может варьироваться, поэтому выход диоксида кремния может быть как меньше, так и больше, в зависимости от молекулярных масс молекул олигомера. По экспериментальным данным выход сухого остатка из отвержденного олигомера составил 51%. Сухим остатком в данном случае является диоксид кремния.

Контрольную партию образцов сырца кварцевой керамики без добавок обжигали в диапазоне температур от 1100 до 1300 °С с выдержкой по 3 часа. На всех полученных образцах определяли пористость методом гидростатического взвешивания. Зависимость открытой пористости кварцевой керамики, полученной из сырца, модифицированного кремнеземом и кремнийорганической смолой, и сырца без добавок, представлена на рисунке 1.

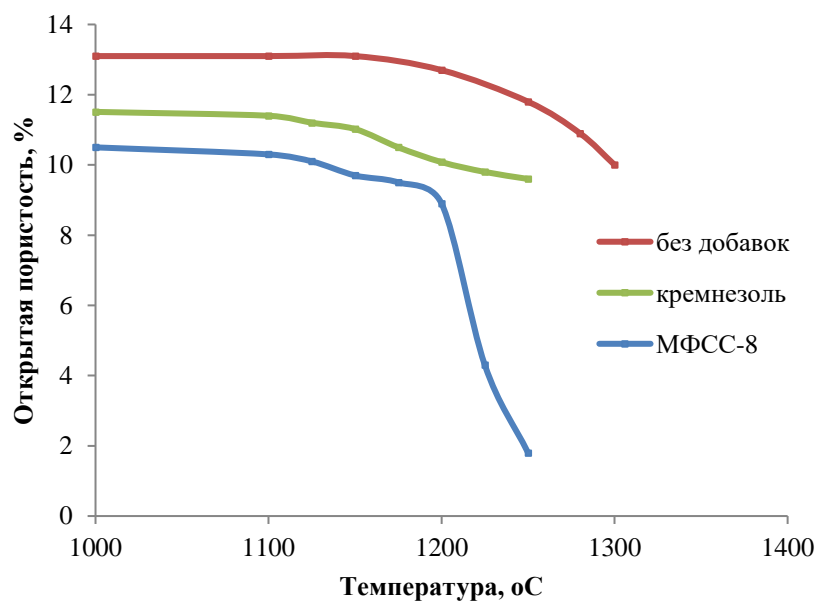


Рис. 1 – Зависимость открытой пористости кварцевой керамики, полученной из сырца без добавок и сырца, модифицированного кремнеземом и кремнийорганической смолой МФСС-8

Открытая пористость керамики, получаемой из модифицированного сырца, значительно ниже, чем керамики из сырца без введения добавок. Особенно ярко проявлено влияние пропитки сырца раствором МФСС-8. Следует отметить, что для керамики с введенной в капиллярнопоровую структуру кремнийорганической смолой наблюдается значительное снижение пористости при обжиге свыше 1200 °С. Очевидно, что количества вводимого в сырец оксида кремния путем пропитки кремнеземом недостаточно для заметного изменения процесса спекания, но и проводить многократные пропитки не представляется целесообразным.

Из заготовок кварцевой керамики, полученной из сырца без добавок и сырца с добавкой МФСС-8, были изготовлены образцы-балочки для определения прочности материала. Предел прочности определяли при трехточечном изгибе при температуре 20 °С. Зависимость предела прочности образцов из кварцевой керамики, полученной из модифицированного кремнийорганической смолой сырца и сырца без добавок, представлена на рисунке 2. Модифицирование сырца кварцевой керамики с помощью МФСС-8 приводит к существенному упрочнению материала.

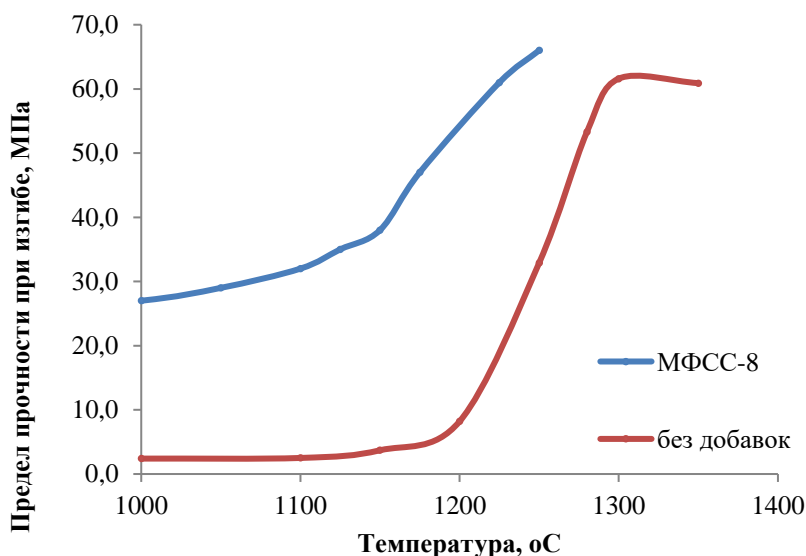


Рис. 2 – Зависимость предела прочности кварцевой керамики, полученной из модифицированного кремнийорганической смолой сырца и сырца без добавок

В ходе эксперимента также были зафиксированы линейные усадки материалов при термообработке. Оказалось, что при обжиге кварцевой керамики, в результате которого получается керамика с пористостью 10-12%, усадки составляют 1,2-1,6%, а при обжиге модифицированного сырца кварцевой керамики и получении материала с открытой пористостью 10% усадки не превышают 0,5%, и даже при получении керамики с пористостью 2% не превышает 1%. Снижение усадок происходит благодаря массопереносу образующегося при деструкции кремнийорганического полимера мелкодисперсного диоксида кремния в зоны контакта зерен заготовки кварцевой керамики.

Важными характеристиками для кварцевой керамики, используемой для радиопрозрачных деталей летательных аппаратов, являются диэлектрические характеристики. В ходе исследования были изготовлены образцы из модифицированного и немодифицированного сырца, подвергнутого термообработке при 1150 °С, для определения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь при 20 ± 10 °С и частоте 10^{10} Гц. Диэлектрическая проницаемость для материала, полученного из модифицированного сырца составила 3,44, для материала из сырца без добавок, термообработанного по аналогичному режиму составила 3,27. Увеличение значений диэлектрической проницаемости связано, прежде всего, со снижением пористости и общей доли воздуха, занимающего поры материала. Тангенс угла диэлектрических потерь в керамике, полученной из модифицированного сырца, составил 0,0017, что несколько ниже значения определенного на образцах из кварцевой керамики без добавок – 0,0024. В целом диэлектрические характеристики близки, что свидетельствует о достаточной чистоте получаемого при модифицировании сырца материала.

Необходимо отметить, что в [9] пористость кварцевой керамики ниже 4% получена при обжиге сырца с пористостью 12,7% свыше 1350 °С в течение 30 мин и при 1230 °С в течении более 10 часов, что несомненно увеличивает вероятность кристаллитизации: авторами показано, что кристаллит обнаруживается и в ходе обжига при 1200 °С, при чем содержание его возрастает с ростом выдержки при термообработке. Рентгенофазовый анализ исследуемых образцов, полученных из модифицированного сырца, не показал наличия кристаллита. Для кварцевой керамики, полученной из сырца без добавок, наблюдали кристаллизацию при термообработке при 1300 °С, что выразилось в снижении значений предела прочности. Высокие прочностные характеристики образцов, полученных из модифицированного сырца, свидетельствуют об отсутствии критических количеств кристаллита.

Известен способ снижения температуры спекания кварцевой керамики с помощью введения в шликер нитрида бора [2], однако этот способ оказывает существенное влияние на диэлектрические характеристики получаемого материала, кроме того отмечается возможное образование на поверхности материала трещиноватой структуры, что ухудшает его эксплуатационные свойства. Исследуемый же способ не изменяет состава твердой фазы керамического материала, что не влечет существенного изменения диэлектрических свойств. Таким образом, модифицирование сырца кварцевой керамики, рассмотренное в данной работе, можно использовать в случае, если необходимо минимальное влияние на диэлектрические свойства получаемого материала.

Получение малопористой керамики из кварцевого стекла возможно при проведении спекания при температурах 1800 °С [8], такой способ требует особой чистоты исходного сырья и специальных высокотемпературных печей. Рассмотренный в настоящей работе способ демонстрирует, как можно существенно снизить температуру обжига при получении кварцевой керамики с пониженным содержанием открытых пор.

Заключение

Полученные в ходе исследования данные позволяют сделать вывод, что введение в сырец модифицирующей добавки путем пропитки раствором продукта МФСС-8 способствует интенсификации процесса спекания. Содержание модифицирующего диоксида кремния в материале составляет 1,2 %. Способ может быть использован для получения кварцевой керамики с меньшей пористостью и более высокой прочностью, или же при сохранении основных свойств керамику можно получить обжигом при температурах на 100-150 °С более низких. Кроме того, выявлен положительный эффект в виде снижения усадок при обжиге модифицированного сырца, что можно использовать для формования заготовок с меньшим припуском.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Михеев, С.В. Керамические и композиционные материалы в авиационной технике / С.В. Михеев, Г.Б. Строганов, А.Г. Ромашин. - М.: Альтакс. -2002 – 276 с.
2. Пивинский, Ю.Е. Кварцевая керамика и огнеупоры. Том 2. Материалы, их свойства и области применения: Справочное издание / Ю.Е. Пивинский, Е.И. Суздальцев, под ред. Ю.Е. Пивинского – М. : Теплоэнергетик. - 2008. – 464 с.
3. Пивинский, Ю.Е. Полувековая эпоха развития отечественной кварцевой керамики. Часть 2 / Ю.Е. Пивинский // Новые огнеупоры - №5 – 2017- С.23-30.
4. Пивинский, Ю.Е. Полувековая эпоха развития отечественной кварцевой керамики. Часть 1 / Ю.Е. Пивинский // Новые огнеупоры– 2017- №3 - С.105-112.
5. Суздальцев, Е.И. Свойства кварцевой керамики / Е.И. Суздальцев // Огнеупоры и техническая керамика– 2008 - №1- С.3-11.
6. Суздальцев, Е.И. Свойства кварцевой керамики (продолжение) / Е.И. Суздальцев // Огнеупоры и техническая керамика– 2008 - №11-12- С.3-15.
7. Суздальцев, Е.И. Свойства кварцевой керамики (продолжение) / Е.И. Суздальцев // Огнеупоры и техническая керамика– 2009 - №7-8- С.21-34.
8. Tsukuma, K. Opaque Silica Glass Fabrikated by Slip Casting and Sintering (Part 1) / Optimization of slip casting and Sintering Processes / K. Tsukuma // Journal of ceramic Society of Japan 108|3| - 2000 – P.241-244.
9. Пивинский, Ю.Е. Кварцевая керамика и огнеупоры. Том 1. Теоретические основы и технологические процессы: Справочное издание / Ю.Е. Пивинский, Е.И. Суздальцев, под ред. Ю.Е. Пивинского. М. : Теплоэнергетик, 2008. – 672 с.
10. Суздальцев, Е.И. Способы получения высококонцентрированных шликеров из кварцевого стекла и конструкции помольного оборудования / Е.И. Суздальцев // Огнеупоры и техническая керамика - №3 – 2007 – С.42-49.
11. Кингери, У.Д. Введение в керамику / У.Д. Кингери, Перевод с англ. А.И. Рабухина и В.К. Янковского. – М.: Издательство литературы по строительству - 1967. – 500 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Miheev, S.V. Keramicheskie i kompozicionnyematerialy v aviacionnoj tehnikе [Ceramic and composite materials for aviation technology] / S.V. Miheev, G.B. Stroganov, A.G. Romashin -M.: Al'teks. -2002 – 276 p.[in Russian]
2. Pivinskij, Ju.E. Kvarcevaja keramika i ogneupory. Materialy, ih svojstva i oblasti primenenija: Spravochnoe izdanie [Quartz ceramics and refractories. Volume 2. Materials, their properties and fields of application: Reference edition] / Ju.E. Pivinskij, E.I. Suzdal'cev, ed. Ju.E. Pivinskogo – M.:Teploenergetik. - 2008. – 464 p.[in Russian]
3. Pivinskij, Ju.E. Poluvekovaja jepoha razvitija otechestvennoj kvarcevoj keramiki. Chast' 2[Half century epoch of the development of domestic quartz ceramics. Part 2] / Ju.E. Pivinskij // Novye ogneupory [New refractories]- №5 – 2017- P.23-30. [in Russian]
4. Pivinskij, Ju.E. Poluvekovaja jepoha razvitija otechestvennoj kvarcevoj keramiki. [Half century epoch of the development of domestic quartz ceramics. Part 1] / Ju.E. Pivinskij // Novye ogneupory [New refractories] – 2017- №3 - P.105-112. [in Russian]
5. Suzdal'cev, E.I. Svojstva kvarcevoj keramiki [Properties of quartz ceramics] / E.I. Suzdal'cev // Ogneupory i tehničeskaja keramika [Refractories and technical ceramics]. – 2008 - №1- P.3-11. [in Russian]
6. Suzdal'cev, E.I. Svojstva kvarcevoj keramiki (prodolzhenie) [Properties of quartz ceramics (followup)] / E.I. Suzdal'cev // Ogneupory i tehničeskaja keramika [Refractories and technical ceramics] – 2008 - №11-12- P.3-15. [in Russian]
7. Suzdal'cev, E.I. Svojstva kvarcevoj keramiki (prodolzhenie) [Properties of quartz ceramics (followup)] / E.I. Suzdal'cev // Ogneupory i tehničeskaja keramika [Refractories and technical ceramics] – 2009 - №7-8- P.21-34. [in Russian]
8. Tsukuma, K. Opaque Silica Glass Fabrikated by Slip Casting and Sintering (Part 1)/Optimization of slip casting and Sintering Processes // Journal of ceramic Society of Japan 108|3| - 2000 – P.241-244.
9. Pivinskij, Ju.E. Kvarcevaja keramika i ogneupory. Teoreticheskie osnovy i tehnologičeskie processy: Spravochnoe izdanie [Quartz ceramics and refractories. Volume 1. Theoretical foundations and technological processes: Reference edition] / Ju.E. Pivinskij, E.I. Suzdal'cev, ed. Ju.E. Pivinskogo – M. :Teploenergetik. - 2008. – 464 p. [in Russian]
10. Suzdal'cev, E.I. Sposoby poluchenija vysokokoncentrirovannyh shlikеров iz kvarceвого стекла i konstrukcii pomol'nogo oborudovanija[The methods fer producing highly concentrated slips from quartz glass and the construction of grinding equipment]/ E.I. Suzdal'cev //Ogneupory i tehničeskaja keramika[Refractories and technical ceramics] - №3 – 2007 – P.42-49.[in Russian]
11. Kingeri, U.D. Vvedenie v keramiku [Introduction to ceramics]/Perevod s angl. A.I.Rabuhina i V.K.Jankovskogo. [Translated from English]– M.: Publishing house of literature on construction - 1967. – 500 p. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.009>

ОБЗОР РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Обзорная статья

Нестеренко Г.А.^{1,*}, Лысенко Е.А.², Нестеренко И.С.³, Шух Г.В.⁴, Морозова А.Р.⁵

¹ ORCID: 0000-0003-1528-4627;

² ORCID: 0000-0001-7465-3360;

³ ORCID: 0000-0003-4749-010X;

^{1, 2, 3, 4, 5} Омский государственный технический университет, Омск, Россия

* Корреспондирующий автор (nga112001[at]list.ru)

Аннотация

В данной статье рассматривается применение комбинированного подхода к исследованию потерь на трение в современном четырехцилиндровом дизельном двигателе для легковых автомобилей. Этот подход объединяет результаты измерений в узлах трения двигателя с использованием метода индикации и результаты моделирования опорных подшипников. Использование метода позволяет проводить анализ потерь на трение с учетом подсистемы, которая дает потери в поршневой группе, подшипниках скольжения коленчатого вала и клапанной передаче (включая привод ГРМ и сальники коленчатого вала). При низких оборотах двигателя и высоких нагрузках потенциал снижения потерь на трение значительно снижается и составляет менее 8%, что указывает на смешанные режимы смазки в поршневой группе и клапанной передаче.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, трение, измерение, методы измерения, клапанный механизм.

AN OVERVIEW OF VARIOUS METHODS OF INVESTIGATION OF FRICTION LOSSES IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Review article

Nesterenko G.A.^{1,*}, Lysenko E.A.², Nesterenko I.S.³, Shukh G.V.⁴, Morozova A.R.⁵

¹ ORCID: 0000-0003-1528-4627;

² ORCID: 0000-0001-7465-3360;

³ ORCID: 0000-0003-4749-010X;

^{1, 2, 3, 4, 5} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

* Corresponding author (nga112001[at]list.ru)

Abstract

This article discusses the application of a combined approach to the study of friction losses in a modern four-cylinder diesel engine for passenger cars. This approach combines the results of measurements in the friction units of the engine using the indication method and the results of modeling the support bearings. The use of the method makes it possible to analyze friction losses taking into account the subsystem that gives losses in the piston block, the crankshaft sliding bearings and the valve gear (including the valve train drive gear and the crankshaft seals). At low engine speeds and high loads, the potential for reducing friction losses is significantly reduced and is less than 8%, which indicates mixed lubrication modes in the piston block and valve gear.

Keywords: internal combustion engine, friction, measurement, measurement methods, valve mechanism.

Введение

В данной статье рассматривается применение разработанного комбинированного подхода с использованием процедуры анализа для детального исследования потерь на трение современного дизельного двигателя легкового автомобиля. Основная цель исследования - проанализировать потери на трение базового двигателя и его узла, подшипников скольжения коленчатого вала, клапанного механизма и поршневого узла для различных тепловых граничных условий. Поэтому температуры подаваемого масла и охлаждающей воды варьируются от 70 до 110 °C [1], [2]. Эти дополнительные исследования, в частности, при самых высоких температурах, позволяют идентифицировать критически важные узлы смешанной смазки в узлах. Вторичной целью является дальнейшая разбивка потерь на трение с помощью дополнительных измерений.

Выявлен индивидуальный вклад клапанного механизма, привода газораспределительного механизма (ГРМ), уплотнений коленчатого вала и коренных подшипников коленчатого вала.

Цели измерений

Измерение потерь на трение коренных подшипников коленчатого вала позволяет проверить использование метода моделирования опорных подшипников в системе коленчатого вала, что представляет собой третью цель данной работы. Подход к моделированию был разработан на основе испытательных стендов подшипников скольжения. В этой статье единственное измерение потерь в подшипниках скольжения позволяет впервые провести прямое сравнение с методом моделирования подшипников скольжения.

Целью разработанной процедуры анализа потерь на трение является определение потерь мощности на трение базового двигателя для работы двигателя и нагрузки, и разбивка этих потерь на подшипники скольжения коленчатого вала отдельных компонентов, клапанный механизм (с приводом ГРМ и уплотнениями коленчатого вала), и поршневую группу. Для этой цели был разработан подход к анализу, сочетающий измерения на испытательном стенде моторизованного двигателя с внешним наддувом и ранее разработанный прогнозирующий и широко проверенный метод моделирования подшипников скольжения. Обзор разработанного подхода показан на рисунке 1.



Рис. 1 – Общий обзор использованного комбинированного подхода для анализа потерь на трение в двигателе

Описание подхода к измерениям

Комбинированный подход объединяет экспериментальные результаты с расчетными потерями на трение в подшипниках скольжения из имитационных моделей. Это приводит, с одной стороны, к определению общих потерь на трение базового двигателя и, с другой стороны, к разрешенному распределению потерь на трение в узле по всему рабочему диапазону двигателя (скорость и нагрузка).

1. Эксперимент

Полный момент трения на коленчатом валу (по методу индикации)

- Работа с двигателем
- Загрузочная операция

Дополнительные измерения крутящего момента

- Клапанный механизм (включая привод, коренные подшипники коленчатого вала, сальники коленчатого вала)

2. Моделирование

• Потери на трение в подшипниках скольжения коленчатого вала для базового двигателя и конфигурации дополнительных измерений крутящего момента

- Моделирование с сопоставлением режима нефти с экспериментом, включая физические свойства смазочного материала (неньютоновское поведение жидкости, пьезовязкостный эффект, зависимость вязкости от скорости сдвига)

3. Распределение потерь на трение

- Общие потери на трение базового двигателя
- Распределение потерь на трение, связанных с узлом
- Подшипники скольжения коленчатого вала (коренной подшипник, шатунный подшипник)
- Клапанный механизм (включая привод ГРМ и сальники коленчатого вала)

Измерения проводятся с использованием метода индикации [3], [4].

Последовательность моделирования и измерений

Трение клапанного механизма: в дополнение к испытаниям на полное базовое трение двигателя дополнительные измерения трения выполняются при снятых поршнях и шатунах для определения момента трения клапанного механизма с приводом газораспределения и уплотнениями коленчатого вала.

Моделирование подготавливается в два этапа. На первом этапе используется имитационная модель базового двигателя для расчета потерь на трение в коренном подшипнике и подшипнике на большой стороне в испытанных условиях эксплуатации. На втором этапе используется уменьшенная модель двигателя без поршней и шатунов в сочетании с дополнительными измерениями крутящего момента трения клапанного механизма [5]. Для подробных и точных расчетов потерь на трение в подшипниках скольжения очень важно использовать модели смазки, которые коррелируют с экспериментами и точно описывают реологические свойства использованного моторного масла.

Полный двигатель сокращается до конфигурации с базовым двигателем путем удаления или деактивации всех вспомогательных устройств двигателя. Это позволяет полностью сосредоточиться на потерях на трение базового двигателя при исследовании потерь на трение [6]. Перед проведением испытаний на трение выполняется обширная процедура обкатки для учета процессов, влияющих на результаты. Затем на базовом двигателе выполняются первые измерения для получения карты трения двигателя во всем интересующем диапазоне нагрузки и скорости. Трения двигателя обычно измеряется при различных температурах подаваемой среды двигателя для анализа влияния различных тепловых граничных условий на потери на трение в двигателе [7].

Параллельно с экспериментальной частью создается имитационная модель опорного подшипника базового двигателя. Помимо подробных геометрических и массовых данных всего кривошипно-шатунного механизма, взаимодействие между имитационной моделью и экспериментами состоит из кривых давления в цилиндрах и оборотов двигателя для нагрузки на подшипник и данных измерения температуры основного подшипника для методологии моделирования опорных подшипников [8]. Общие потери на трение (гидродинамические и неровности на трение) коренных и шатунных подшипников коленчатого вала рассчитываются (подшипники скольжения) для тех же рабочих точек двигателя, которые использовались при измерениях карты трения двигателя. После того, как измерения карты трения двигателя закончены, базовый двигатель разбирается до стадии 0 полоскового испытания двигателя путем удаления поршней и шатунов. Эти так называемые дополнительные измерения крутящего момента затем проводятся при тех же граничных условиях для частоты вращения двигателя и температуры рабочей среды двигателя, которые использовались для измерений карты трения двигателя [9]. Создается дополнительная имитационная модель опорного подшипника в конфигурации этапа испытания двигателя на полосе для расчета и разделения потерь трения в коренном подшипнике для этого этапа испытания полосы. Путем вычитания измеренного момента трения из дополнительных измерений крутящего момента из момента трения моделирования опорного подшипника, коррелирующего с дополнительными измерениями крутящего момента, сила трения клапанного механизма. Для простоты этот момент трения далее называется моментом трения клапанного механизма, важно отметить, что (сравнительно меньшие) потери на трение привода ГРМ и уплотнительных колец коленчатого вала включены.

После определения потерь на трение в клапанной системе можно определить потери на трение поршневой группы. Результирующий момент трения поршневой группы рассчитывается из измеренного полного момента трения базового двигателя путем вычитания расчетного момента трения клапанного механизма и расчетного момента трения механизма подшипники скольжения коленчатого вала базовой конфигурации двигателя (подшипники скольжения TF) [10].

Заключение

При таком комбинированном подходе становится возможным определить потери на трение в узле поршневой группы, клапанного механизма и опорных подшипников коленчатого вала во всем диапазоне условий работы двигателя (весь диапазон оборотов двигателя и диапазон нагрузок). Это может быть сделано для всех типов одно- или многоцилиндровых двигателей и прототипов, соответственно, с использованием обычных коленчатых валов с возвратно-поступательным движением. Кроме того, экономия затрат достигается за счет меньших экспериментальных усилий, а подробное понимание трибологических характеристик коренных и шатунных подшипников коленчатого вала становится возможным с помощью результатов моделирования опорных подшипников.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Путинцев С.В. Обоснование и постановка задачи сравнительного анализа эффективности гладкой и шероховатой внутренних поверхностей цилиндров поршневых двигателей. / С.В. Путинцев, А.Г. Кириллов, А.С. Ратников // Автомобильная промышленность . – 2018. – №3. – с. 7-9.
2. Wichtl R. Experimental and Simulative Friction Analysis of a Fired Passenger Car Diesel Engine with Focus on the Cranktrain. / R. Wichtl, R. Schneider, P. Grabner et al. // SAE Int. J. Engines . – 2016. – №9. – p. 2227-2241.
3. Горицкий Ю.А. Марковский подход к построению моделей взаимодействия шероховатых поверхностей. / Ю.А. Горицкий, К.В. Гаврилов, И.А. Мигаль // Вестник Московского энергетического института. – 2019. – №1. – с. 114-123.
4. Качканьян Р.А. Пути снижения потерь на трение в кривошипно-шатунном механизме поршневых ДВС. / Р.А. Качканьян, К.С. Кульмагамбетов // Молодой ученый. – 2016. – №10. – с. 231-234.
5. Парфенов Е.В. Электролитно-плазменная обработка: моделирование, диагностика, управление: монография / Е.В. Парфенов, Р.Р. Невьянцева, С.А. Горбатов и др. – М.: Машиностроение, 2014. – 380 с.
6. Крутилин А.Н. Условия работы и основные требования, предъявляемые к материалу гильз блока цилиндров. / А.Н. Крутилин, М.И. Курбатов, М.И. Курбатова // Литьё и металлургия. – 2005. – №2-1 (34). – с. 107-109.
7. Григорьев А.Ю. Теория механизмов и машин. Экспериментальные исследования трения при страгивании и скольжении тел: Учеб.-метод. пособие. / А.Ю. Григорьев, Ю.С. Молчанов – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 32 с.
8. Шестопалов С.К. Устройство, техническое обслуживание и ремонт легковых автомобилей: Учебник / С.К. Шестопалов – М: Академия, 2018. – 288 с.
9. Sander D.E. Simulation of journal bearing friction in severemixedlubrication-Validation and effect of surface smoothing due to running-in. / D.E. Sander, H. Allmaier, H.H. Priebsch et al. // Tribol. Int. – 2016. – №96. – p. 173-183.
10. Плаксин А.М. Диагностирование системы впуска автомобильных двигателей внутреннего сгорания методами тестового диагностирования. / А.М. Плаксин // Фундаментальные исследования. – 2014. – №8-5. – с. 1053–1057.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Putincev S.V. Obosnovanie i postanovka zadachi sravnitel'nogo analiza effektivnosti gladkoj i sheroxovatoj vnutrennih poverxnostej cilindrovporshnevy'x dvigatelej [Justification and formulation of the problem of comparative analysis of the efficiency of smooth and rough inner surfaces of piston engine cylinders]. / S.V. Putincev, A.G. Kirillov, A.S. Ratnikov // Avtomobil'nayapromy'shlnennost' [Automotive industry]. – 2018. – №3. – p. 7-9. [in Russian]
2. Wichtl R. Experimental and Simulative Friction Analysis of a Fired Passenger Car Diesel Engine with Focus on the Cranktrain. / R. Wichtl, R. Schneider, P. Grabner et al. // SAE Int. J. Engines . – 2016. – №9. – p. 2227-2241.
3. Goriczkij Yu.A. Markovskij podxod k postroeniyu modelej vzaimodejstviya sheroxovaty'x poverxnostej [Markov approach to the construction of models of interaction of rough surfaces]. / Yu.A. Goriczkij, K.V. Gavrilov, I.A. Migal // Vestnik Moskovskogo e'nergeticheskogo instituta [Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute]. – 2019. – №1. – p. 114-123. [in Russian]
4. Kachkan'yan R.A. Puti snizheniya poter' natrenie v krivoshipno-shatunnom mexanizme porshnevy'x DVS [Ways to reduce friction losses in the crank mechanism of piston internal combustion engines]. / R.A. Kachkan'yan, K.S. Kul'magambetov // Molodoj uchenyj [Young scientist]. – 2016. – №10. – p. 231-234. [in Russian]
5. Parfenov E.V. E'lektrolitno-plazmennaya obrabotka: modelirovanie, diagnostika, upravlenie: monografiya [Electrolytic-plasmatreatment: modeling, diagnostics, control: monograph] / E.V. Parfenov, R.R. Nev'yanceva, S.A. Gorbakovetal. – М.: Mashinostroenie, 2014. – 380 p. [in Russian]
6. Krutilin A.H. Usloviya raboty i osnovny'e trebovaniya, pred'yavlyaemy'e k material gil'z bloka cilindrov [Working conditions and basic requirements for the cylinder liner material]. / A.H. Krutilin, M.I. Kurbatov, M.I. Kurbatova // Lit'yo i metallurgiya [Casting and metallurgy]. – 2005. – №2-1 (34). – p. 107-109. [in Russian]
7. Grigor'ev A.Yu. Teoriya mexanizmov i mashin. E'ksperimental'ny'e issledovaniya treniya pristragivaniya i skol'zheniya tel: Ucheb.-metod. posobie. [The theory of mechanisms and machines. Experimental studies of friction when moving and sliding bodies: Textbook-method. allowance.] / A.Yu. Grigor'ev, Yu.S. Molchanov – SPb.: NIU ITMO; IXiBT, 2014. – 32 p. [in Russian]
8. Shestopalov S.K. Ustrojstvo, texnicheskoe obsluzhivanie i remont legkovy'x avtomobilej: Uchebnik [Device, maintenance and repair of passenger cars: Textbook] / S.K. Shestopalov – М: Akademiya, 2018. – 288 p. [in Russian]
9. Sander D.E. Simulation of journal bearing friction in severemixedlubrication-Validation and effect of surface smoothing due to running-in. / D.E. Sander, H. Allmaier, H.H. Priebsch et al. // Tribol. Int. – 2016. – №96. – p. 173-183.
10. Plaksin A.M. Diagnostirovanie sistemy vpuska avtomobil'ny'x dvigatelej vnutrennego sgoraniya metodami testovogo diagnostirovaniya [Diagnostics of the intake system of automobile internal combustion engines by test diagnostics methods]. / A.M. Plaksin // Fundamental'ny'e issledovaniya [Basic research]. – 2014. – №8-5. – p. 1053–1057. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.010>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОМОГРАММ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГАЗОПРОВОДОВ

Научная статья

Новопашина Н.А.¹, Филатова Е.Б.², Баландина О.А.^{3,*}² ORCID: 0000-0001-5498-5595;³ ORCID: 0000-0002-2044-8545;^{1,2,3} Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (balandinaolya88[at]rambler.ru)

Аннотация

Проанализированы работы таких исследователей как Борисов С.Н., Скафтымов Н.А., Ионин А.А. о влиянии режимов течения газа и качества внутренней поверхности газопроводов на гидравлическое сопротивление газовой сети. Выполнены расчеты по определению скоростей газа на границе областей гидравлической гладкости и гидравлической шероховатости для газопроводов низкого, среднего и высокого (I и II категорий) давлений. Выведена зависимость изменения значения пограничной скорости, приведенной к нормальным условиям, от давления газа. На основании проведенных расчетов на номограммы низкого и среднего (высокого) давления нанесены кривые, обозначающие границу раздела рассматриваемых областей. Результаты исследования могут быть применены при решении инженерных задач, связанных с гидравлическими расчетами газопроводов различного давления при реконструкции существующих газовых сетей или при подключении новых потребителей.

Ключевые слова: гидравлическая гладкость, гидравлическая шероховатость, пограничная скорость, давление, номограмма, граница, сопротивление.

USING NOMOGRAMS FOR HYDRAULIC CALCULATION OF GAS PIPELINES

Research article

Novopashina N.A.¹, Filatova E.B.², Balandina O.A.^{3,*}² ORCID: 0000-0001-5498-5595;³ ORCID: 0000-0002-2044-8545;^{1,2,3} Samara State Technical University, Samara, Russia

* Corresponding author (balandinaolya88[at]rambler.ru)

Abstract

The current article conducts an analysis of the works of such researchers as Borisov S.N., Skaftymov N.A., Ionin A.A. on the influence of gas flow regimes and the quality of the inner surface of gas pipelines on the hydraulic resistance of gas networks. The authors perform calculations to determine the gas velocities at the boundary of the areas of hydraulic smoothness and hydraulic roughness for gas pipelines of low, medium and high pressures (I and II categories). The study also deduces the dependence of the change in the value of the boundary velocity on the gas pressure when reduced to normal conditions. Based on the performed calculations, the authors apply curves on the nomograms of low and medium (high) pressure, indicating the interface of the examined areas. The results of the study can be applied when solving engineering problems related to hydraulic calculations of gas pipelines of various pressures during the reconstruction of existing gas networks or when working with new consumers.

Keywords: hydraulic smoothness, hydraulic roughness, boundary velocity, pressure, nomogram, boundary, resistance.

Введение

При транспортировке газа по трубопроводам возникает сопротивление сети, зависящее от режима течения потока газа (турбулентного или ламинарного) и влияния шероховатости внутренней поверхности газопроводов, определяемое по таблицам или номограммам [1], [2].

Для определения гидравлического сопротивления сети среднего и высокого давлений используют формулу [3]:

$$P_n^2 - P_k^2 = 1,62\lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 P_0 l. \quad (1)$$

Для газопроводов низкого давления применяют формулу [3]:

$$P_n - P_k = 0,81\lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l \quad (2)$$

где P_n – абсолютное давление в начале газопровода, МПа; P_k – абсолютное давление в конце газопровода, МПа; $P_0 = 0,101325$ МПа; λ – коэффициент гидравлического трения; Q_0 – расход газа при нормальных условиях, м³/ч; d – внутренний диаметр газопровода, м; ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; l – расчетная длина газопровода постоянного диаметра, м.

Гидравлический расчет газопроводов выполнять по формулам (1, 2) достаточно затруднительно, поэтому были составлены расчетные номограммы и таблицы [4, С. 113, 116], [5, С. 84] для стандартного газа с плотностью $\rho = 0,73$ кг/м³ и кинематической вязкостью $\nu = (14,3 \div 15) \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Основные результаты

Ряд исследователей [4], [6] изучали вопрос о влиянии режимов течения газа и качества внутренней поверхности газопроводов на гидравлическое сопротивление газовой сети.

Например, Н.А. Скафтымов представил номограмму среднего и высокого давления с кривой, разделяющей номограмму на две зоны: зона гидравлической гладкости и зона гидравлической шероховатости [4, С. 116]. Однако вопрос теоретического обоснования местонахождения данной кривой в области номограммы автором не рассматривался. Анализируя эту пограничную кривую, мы пришли к выводу, что она соответствует пограничной скорости газа при нормальных условиях 10,8–11,2 м/с.

В нормативной документации [3, С. 7] представлена расчетная формула для определения границы областей гидравлической гладкости и гидравлической шероховатости труб.

$$Re \left(\frac{n}{d} \right) < 23, \quad (3)$$

где Re – критерий Рейнольдса; d – диаметр газопровода, м; n – эквивалентная абсолютная шероховатость стенок газопровода.

Эквивалентная абсолютная шероховатость стенок газопровода постоянна и принимается [3, С. 7], [7, С. 25], [8, С. 43]:

- для новых стальных газопроводов $n = 0,0001$ м;
- для эксплуатируемых стальных газопроводов $n = 0,001$ м;
- для полиэтиленовых газопроводов независимо от времени эксплуатации $n = 0,000007$ м.

После преобразования формула (3) приобретет вид:

$$\frac{w \cdot n}{\nu} < 23 \quad (4)$$

где w – фактическая пограничная скорость газа, м/с; ν – кинематическая вязкость газа м²/с.

Вязкость природного газа зависит от его температуры, давления и компонентного состава. Несущественное повышение вязкости может вызвать наличие других, неуглеводородных компонентов.

Пределы изменения температуры газа, транспортируемого в населенных пунктах по распределительным газопроводам, незначительны, поэтому можно считать вязкость газа независимой от колебания температуры.

Анализ литературных источников о влиянии давления углеводородных газов на их вязкость [2, С. 132] и проведенный авторами расчет показали, что в пределах рассматриваемых нами избыточных давлений газа 0,0012–1,2 МПа изменение вязкости незначительно. Поэтому с достаточной степенью точности ее можно принять не зависящей от давления газа и равной $14,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Учитывая, что значения величин эквивалентной абсолютной шероховатости стенок газопровода n и кинематической вязкости газа ν можно принять постоянными в рассматриваемых пределах температур и давлений, получаем, что граница между областями гидравлической гладкости и гидравлической шероховатости для стандартного газа зависит только от фактической пограничной скорости движения газа (формула 4) в газопроводе.

Из формулы (4) выразим фактическую пограничную скорость:

$$w = \frac{23 \cdot \nu}{n} \quad (5)$$

По этой формуле пограничная скорость составила для новых стальных газопроводов 3,289 м/с, для эксплуатируемых стальных газопроводов – 0,3289 м/с, а при превышении полученных значений режим течения газа смещается в область гидравлической шероховатости. Это необходимо учитывать при выполнении практических расчетов по реконструкции существующих сетей или подключении новых потребителей.

Для полиэтиленовых газопроводов пограничная скорость не меняется в процессе эксплуатации, это связано с увеличением диаметра до 5% под воздействием внутреннего давления [3, С. 80], [9, С. 21], [10, С. 313].

Рассмотрим течение газа в трубе (газопроводе). В сечении $I-I$ суммарное количество газа равно 0, т.е. количества подаваемого M и отводимого M_0 газа равны между собой.

$$M = M_0 \quad (6)$$

Предположим, что к сечению $I-I$ (см. рисунок 1) подводится газ среднего давления с параметрами P и ρ , а отводится газ при нормальных условиях с параметрами P_0 и ρ_0 .

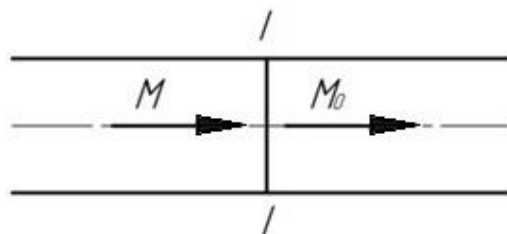


Рис. 1 – Течение газа в трубе

Выражая массы газа через объемы и затем через скорости, из равенства (6) получим значение пограничной скорости, приведенной к нормальным условиям:

$$w_0 = \frac{W \cdot \rho}{\rho_0} \quad (7)$$

Как видно, максимальная пограничная скорость газа в пересчете на нормальные условия зависит от соотношения плотностей газа при соответствующих давлениях [11]. Для новых стальных газопроводов низкого давления ($P = 0,005$ МПа) эта величина равна 3,45 м/с, для максимального среднего давления ($P = 0,3$ МПа) она составляет 13,03 м/с, для максимального высокого давления ($P = 1,2$ МПа) – 42,26 м/с.

Расходы газа, рассчитанные для разных диаметров газопроводов при этих скоростях, наносим на номограммы низкого (см. рисунок 2) и среднего (высокого) (см. рисунок 3) давлений и получаем кривые, разделяющие области гидравлической гладкости и гидравлической шероховатости труб при максимальных давлениях газа.

На рисунке 3 приведено сравнение пограничной кривой, полученной авторами исследования с ранее представленными результатами теоретических исследований [4, С. 113, 116]. При этом оказалось, что пограничные скорости отличаются друг от друга на 15-20%, что для технических расчетов считается удовлетворительным. Однако при решении инженерных задач пренебрежение данной погрешностью может привести к искажению результатов расчета.

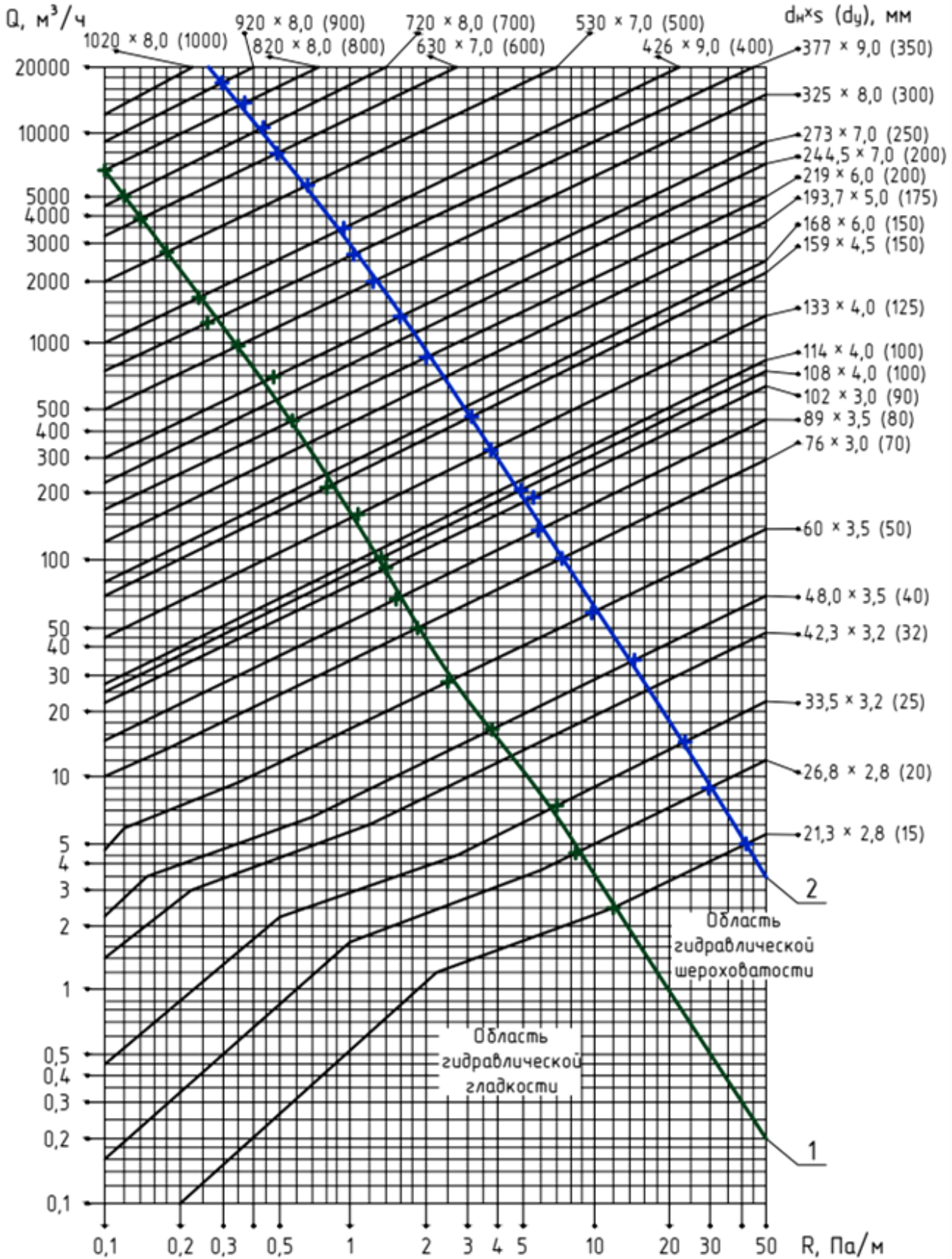


Рис. 2 – Номограмма для определения потерь давления в газопроводах низкого давления (до 0,005 МПа) для природного газа $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при 0°C и $0,1013 \text{ МПа}$):

1 – кривая, разделяющая области гидравлической гладкости и гидравлической шероховатости труб, предложенная авторами исследования ($w = 3,45 \text{ м/с}$ при $P = 0,005 \text{ МПа}$); 2 – кривая, ограничивающая область расхода газа при $w = 7 \text{ м/с}$ [3] и $P = 0,005 \text{ МПа}$

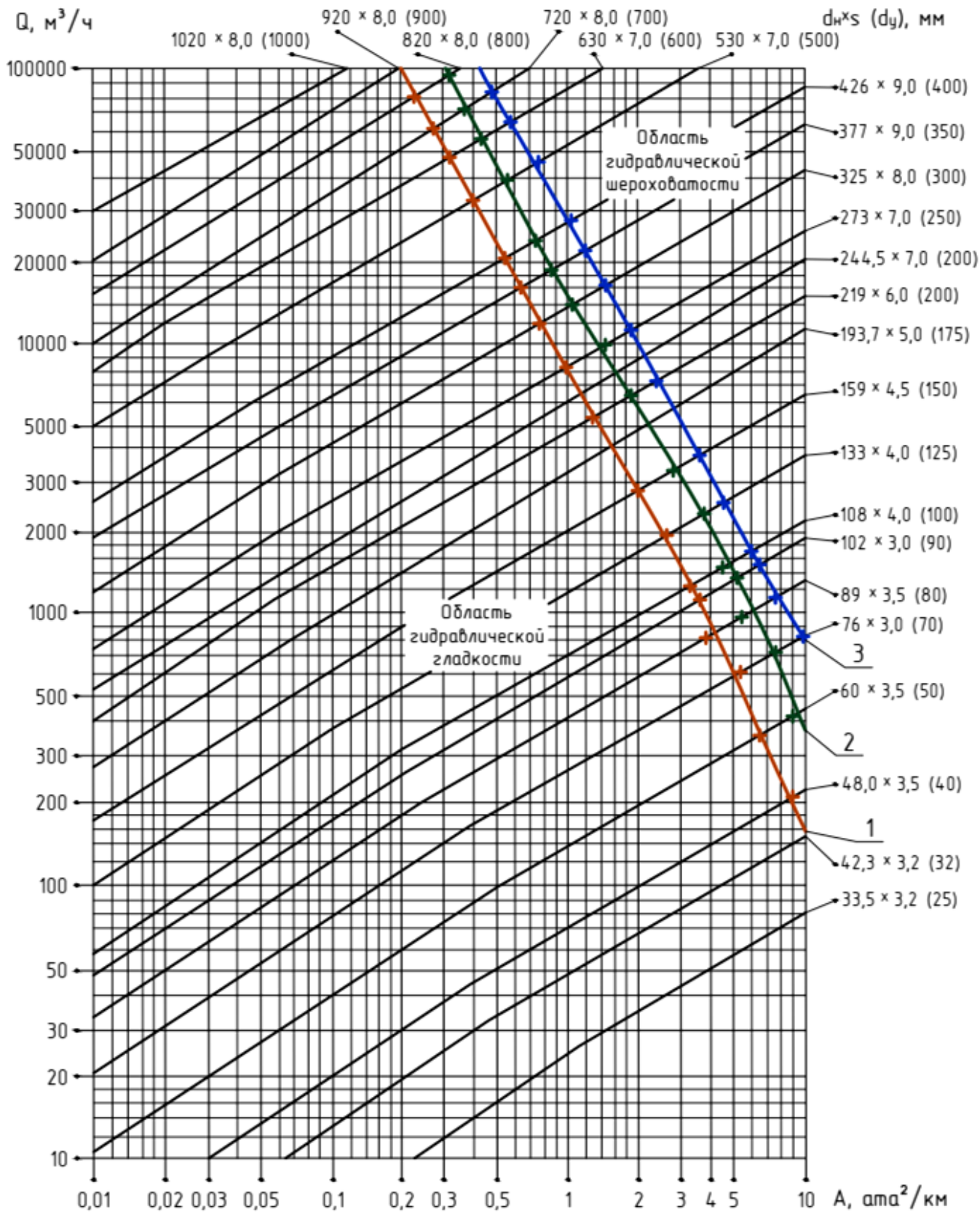


Рис. 3 – Номограмма для определения потерь давления в газопроводах среднего (до 0,3 МПа) и высокого давления (до 1,2 МПа) для природного газа $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при 0°C и $0,1013 \text{ МПа}$): 1 – кривая, разделяющая области гидравлической гладкости и гидравлической шероховатости труб, предложенная Н.А. Скафтымовым; 2 – кривая, разделяющая области гидравлической гладкости и гидравлической шероховатости труб, предложенная авторами исследования ($w = 13,03 \text{ м/с}$ при $P = 0,3 \text{ МПа}$); 3 – кривая, ограничивающая область расхода газа при $w = 15 \text{ м/с}$ [3] и $P = 0,3 \text{ МПа}$

Рассмотрим, как изменяются фактические скорости газа при разных давлениях в пределах от 0,005 до 1,2 МПа и максимально допустимых скоростях газа в пересчете на нормальные условия [3, С. 7 п. 3.38] (см. рисунок 4).

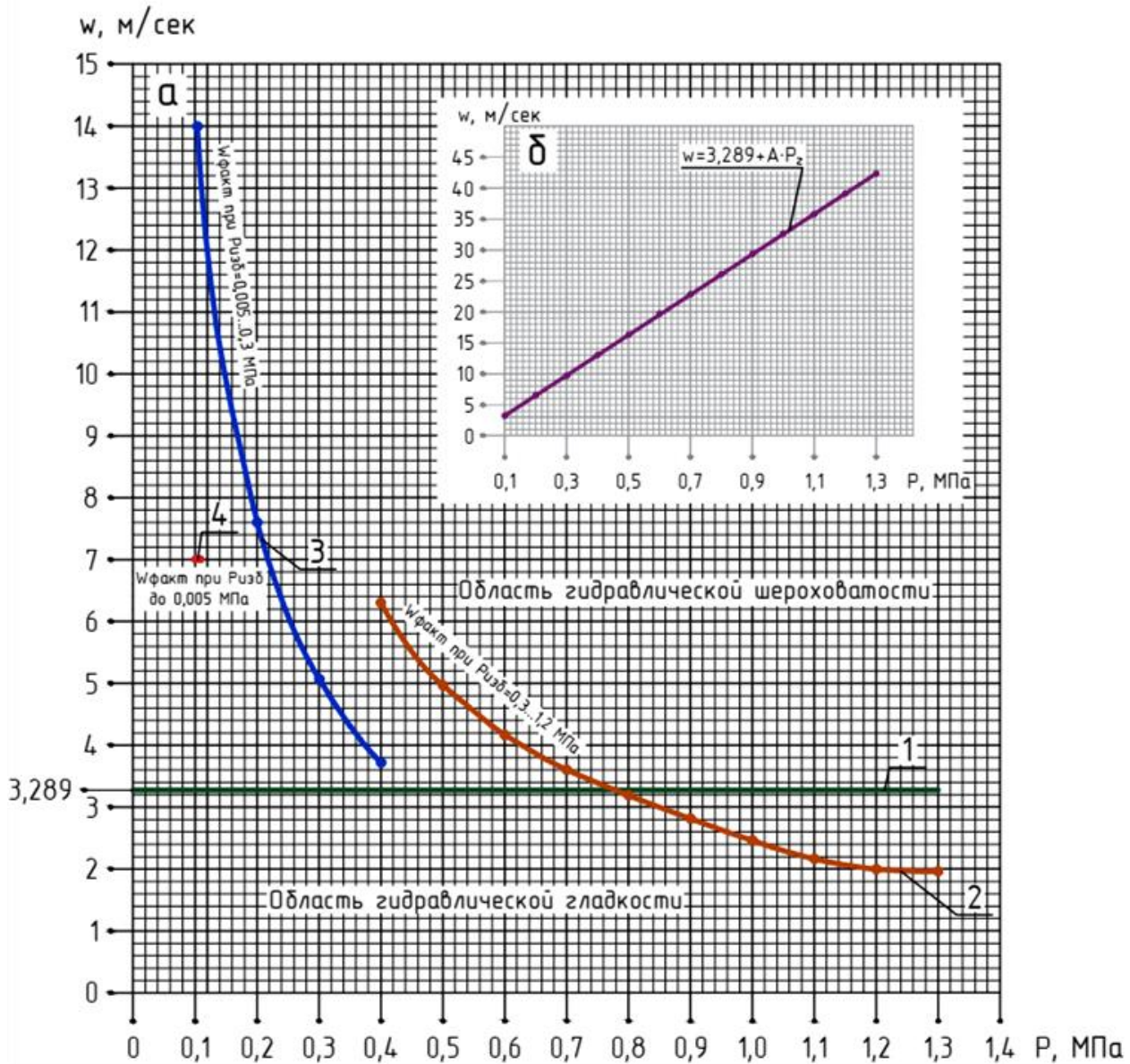


Рис. 4 – График фактических скоростей газа при разных давлениях:

- а) изменение скоростей газа при разных давлениях; б) зависимость пограничной скорости от давления газа;
 1 – фактическая пограничная скорость газа; 2 – фактическая скорость газа при высоком давлении (0,3–1,2 МПа);
 3 – фактическая скорость газа при среднем давлении (0,005–0,3 МПа); 4 – фактическая скорость газа при низком давлении (до 0,005 МПа)

Как видно из графика (а) рисунка 4, пограничная кривая 1 делит график на две области: область гидравлической гладкости и область гидравлической шероховатости. Турбулентный режим течения газа, относящийся к области гидравлической шероховатости труб, наблюдается в распределительных сетях низкого давления (см. рисунок 4, кривая 4). В случае загруженности газовых приборов не полностью, в наружных и особенно во внутренних сетях возможен ламинарный режим, который относится к области гидравлической гладкости труб, т.к. фактические скорости газа в этом случае ниже значения пограничной скорости 3,289 м/с.

То же можем сказать и о среднем давлении газа для всего предела давлений. Однако необходимо учитывать длительность эксплуатации труб и, связанное с ней, увеличение абсолютной шероховатости стенок газопровода.

Для газа высокого давления характерно движение газа в потоке, частично относящееся к области гидравлической шероховатости и частично к области гидравлической гладкости (см. рисунок 4, кривая 2). При абсолютном давлении газа от 0,4 до 0,78 МПа движение газа происходит в области гидравлической шероховатости, при давлении более 0,78 МПа движение газа переходит в область гидравлической гладкости.

При изменении давления газа от 1,2 МПа до 0,005 МПа значение пограничной скорости, приведенной к нормальным условиям, уменьшается пропорционально давлению газа (см. рисунок 4, б), которое может быть описано формулой:

$$w = 3,289 + A \cdot P_r \quad (8)$$

где A – эмпирический коэффициент, выведенный авторами и равный $0,325 \cdot 10^{-2}$; P_r – избыточное давление газа, МПа.

Заключение

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Граница областей гидравлической гладкости и гидравлической шероховатости для параметров газа, приведенных к нормальным условиям, составляет:

- для низкого давления при $P = 0,005$ МПа $w = 3,45$ м/с;
- для среднего давления при $P = 0,3$ МПа $w = 13,03$ м/с;
- для высокого давления при $P = 1,2$ МПа $w = 42,3$ м/с;

2. Значение пограничной скорости, приведенной к нормальным условиям, изменяется в зависимости от давления газа.

Результаты исследования могут быть применены при решении инженерных задач, связанных с гидравлическими расчетами газопроводов различного давления при реконструкции существующих газовых сетей или при подключении новых потребителей.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Cui G. Data-driven computation of natural gas pipeline network hydraulics / G. Cui et al. // Results in Control and Optimization. – 2020. – Vol. 1. – P. 100004.
2. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/akktu> (дата обращения: 27.09. 2021).
3. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб / А.Л. Шурайц, В.С. Волков, В.Е. Удовенко и др. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 68 с.
4. Скафтымов, Н.А. Основы газоснабжения / Н.А. Скафтымов. – Л: Недра, 1975. – 343 с.
5. Стаскевич, Н.Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Н.Л. Стаскевич, Г.Н. Северинец, Д.Я. Вигдорчик. – Л: Недра, 1990. – 762 с.
6. Борисов, С.Н. Гидравлические расчеты газопроводов / С.Н. Борисов, В.В. Даточный. – М: Недра, 1972. – 109 с.
7. Кондауров, П.П. Определение потерь давления в местных сопротивлениях по методу эквивалентных длин при использовании металлополимерных газопроводов / П.П. Кондауров, А.В. Шляхтина // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 4. – №. 4. – С. 24–27.
8. Пшенин, В.В. Анализ зависимостей для расчета гидравлических сопротивлений в полиэтиленовых трубах / В.В. Пшенин, А.И. Фидусь // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее. – 2019. – С. 40–43.
9. Митрахович, А.И. Условия применения двухслойных гофрированных полиэтиленовых труб «КОРСИС» на мелиоративных объектах / А.И. Митрахович и др. // Мелиорация. – 2020. – №. 1. – С. 15–23.
10. Кирьянова, О. А. Проектирование систем газоснабжения жилых домов / О.А. Кирьянова // Новые технологии – нефтегазовому региону. – 2016. – С. 310–313.
11. Новопашина, Н.А. Проблемы, возникающие при гидравлическом расчете газовых сетей / Н.А. Новопашина // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии. – 2021. – С. 763–767.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Cui G. Data-driven computation of natural gas pipeline network hydraulics / G. Cui et al. // Results in Control and Optimization. – 2020. – Vol. 1. – P. 100004.
2. Bol'shaya entsiklopediya nefi i gaza [Big encyclopedia of oil and gas]. [Electronic resource] – URL: <https://clck.ru/akktu> (assessed: 27.09. 2021) [in Russian]
3. SP 42–101–2003 Obshchiye polozheniya po proyektirovaniyu i stroitel'stvu gazoraspredeletel'nykh sistem iz metallicheskih i polietilenovykh trub [General provisions for the design and construction of gas distribution systems made of metal and polyethylene pipes] / A.L. Shurayts, V.S. Volkov, V.Ye. Udovenko et al. Moscow: GUP TsPP. – 2003. 68 p. [in Russian]
4. Skaftimov N.A. Osnovy gazosnabzheniya [Gas supply fundamentals] / N.A. Skaftimov. – L: Nedra, 1975. – 343 p. [in Russian]
5. Staskevich N.L. Spravochnik po gazosnabzheniyu i ispol'zovaniyu gaza [Handbook on gas supply and gas use] / N.L. Staskevich, G.N. Severinets, D.YA. Vigdorchik. – L: Nedra, 1990. – 762 p. [in Russian]
6. Borisov S.N. Gidravlicheskiye raschety gazoprovodov [Hydraulic calculations of gas pipelines] / S.N. Borisov, V.V. Datochnyy. – M: Nedra, 1972. – 109 p. [in Russian]
7. Kondaurov P.P. Opredeleniye poter' davleniya v mestnykh soprotivleniyakh po metodu ekvivalentnykh dlin pri ispol'zovanii metallopolimernykh gazoprovodov [Determination of pressure losses in local resistances by the method of equivalent lengths when using metal-polymer gas pipelines] / P.P. Kondaurov, A.V. Shlyakhtina // Uspekhi sovremennoy nauki [Successes of modern science]. – 2017. – Vol. 4. – №. 4. – P. 24–27. [in Russian]
8. Pshenin V.V. Analiz zavisimostey dlya rascheta gidravlicheskih soprotivleniy v polietilenovykh trubakh [Analysis of dependencies for calculating hydraulic resistance in polyethylene pipes] / V.V. Pshenin, A.I. Fidus' // Nauka i obrazovaniye: sokhranyaya proshloye, sozdayom budushcheye [Science and education: preserving the past, creating the future]. – 2019. – P. 40–43. [in Russian]
9. Mitrakhovich A.I. Usloviya primeneniya dvukhsloynykh gofirovannykh polietilenovykh trub «KORSIS» na meliorativnykh ob'yektakh [Conditions for the use of two-layer corrugated polyethylene pipes "KORSIS" at reclamation facilities] / A.I. Mitrakhovich et al. // Melioratsiya [Melioration]. – 2020. – №. 1. – P. 15–23. [in Russian]
10. Kiryanova O. A. Proyektirovaniye sistem gazosnabzheniya zhilykh domov [Design of gas supply systems for residential buildings] / O.A. Kiryanova // Novyye tekhnologii – neftegazovomu region [New technologies for the oil and gas region]. – 2016. – P. 310–313. [in Russian]
11. Novopashina N.A. Problemy, vznikayushchiye pri gidravlicheskom raschete gazovykh setey [Problems arising in the hydraulic calculation of gas networks] / N.A. Novopashina // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nyye tekhnologii [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction and building technologies.]. – 2021. – P. 763–767. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.011>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАБЛОНА C++ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕШАЮЩИХ ГРАФОВ В ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Научная статья

Русакова З.Н.*

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, Москва

* Корреспондирующий автор (z.n.rusakova[at]mail.ru)

Аннотация

В связи с внедрением систем искусственного интеллекта (ИИ) актуальной задачей является повышение эффективности систем логического вывода. Рассматривается проектирование шаблона C++ для построения решающих графов в продукционных системах ИИ. Описывается разработанный класс C++, реализующий обратный вывод на графах И-ИЛИ. Выбранная платформа C++ позволяет повысить эффективность решения за счет увеличения быстродействия и распараллеливания вычислений и использовать в системах реального времени.

Ключевые слова: списки, поиск, деревья, шаблоны, классы, правила продукции, динамические структуры, логический вывод.

DESIGNING A C++ TEMPLATE FOR CONSTRUCTING DECISION GRAPHS IN PRODUCTION SYSTEMS

Research article

Rusakova Z.N.*

Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow

* Corresponding author (z.n.rusakova[at]mail.ru)

Abstract

In connection with the introduction of artificial intelligence (AI) systems, increasing the efficiency of logical inference systems is an urgent task. The current article examines designing a c++ template for constructing decision graphs in production systems as well as introduces and describes a C++ class that implements reverse inference on and-or graphs. The chosen C++ platform makes it possible to increase the efficiency of the solution by increasing the speed and parallelization of calculations and using them in real-time systems.

Keywords: lists, search, trees, templates, classes, product rules, dynamic structures, logical inference.

Введение

Большинство существующих инструментальных оболочек продукционных систем ИИ разработаны на языках высокого уровня. К ним относятся такие системы как Clisp, Prolog, Nexpert Object, Jess [1], [2], [3]. В большинстве систем используется прямой логический вывод, вызывающий проблему разрешения конфликтного набора правил. Диалоговый режим выполнения затрудняет использование систем в режиме реального времени.

Целью данной работы является разработка программного инструментария обратного логического вывода для продукционных систем, описываемых графами И-ИЛИ и предназначенных для использования в режиме реального времени. В статье рассматривается проектирование шаблона C++ для построения деревьев решения на графах И-ИЛИ, в котором реализован обратный вывод на основе метода поиска в глубину. Использование платформы C++ позволяет повысить быстродействие и распараллелить процедуру вычислений. Построение решающего графа выполняется без запросов данных в автоматическом режиме и позволяет интегрировать механизм вывода с базами данных.

Организация приложения ИИ в виде системы продукции обладает важными преимуществами: правила не вызывают друг друга, все управление правилами вынесено в стратегию управления, между правилами нет прямой связи по данным, все данные находятся в рабочей памяти [1], [5], [10].

Посылка правила является множеством условий, связанных логической связкой «И» «. Семантические определения вершин задается в словаре, в котором каждой вершине ставится в соответствие понятие предметной области. Правила базы знаний формулируются в терминах понятий предметной области. В качестве формальной модели описания продукционной базы (или базы правил) используется представление графом И-ИЛИ [2], [3]. Правила продукции представляются модулем с двумя типами вершин: Первый тип - конъюнктивные вершины - входные вершины, соответствующие условиям правила, и выходная вершина, соответствующая заключению правила. При их графическом отображении используется обычное представление вершин - маленькая окружность. Второй тип вершин - вершина, соответствующая имени или номеру правила. Для их представления используется маленький квадратик. Логический вывод (решатель, или интерпретатор) в продукционных системах соответствует поиску решений в И-ИЛИ графах. Существуют две основные стратегии вывода на множестве правил-продукций: прямой и обратный вывод. Решающий граф определяется как подграф из разрешимых вершин, представляющих имена правил.

Алгоритм решения

Основные структуры данных. Вершина описывается классом *Ver*, полями которого объявляются целые числа – номер вершины (*int num*) и поле *flag*, определяющее выбор вершины в процессе поиска - выбрана, доказана, запрещена. Для описания конъюнктивных входных вершин модуля описывается класс *Mas Ver*. Полями класса объявляются: количество вершин (*int n*) и указатель на динамический массив вершин - *Ver* b*.

Модуль правила описывается классом *Modul_grav*, включающим следующие поля: номер правила - *int num_p*, выходная вершина модуля - *Ver vc*, массив входных вершин *Ver * mv*, количество - *int n*, и флаг просмотра - *int metka*. Множество правил базы знаний описывается списком модулей правил. Вершина – открытая, пока не порождены ее потомки [1], [8]. Эти вершины составляют фронт вершин, являющихся потомками вершины раскрытия. Вершина –

закрытая, если в процессе поиска порождены все ее потомки. Вершины хранятся и обрабатываются в двух списках: список открытых вершин и список закрытых вершин. Вершины графа в процессе поиска из списка открытых переписываются в список закрытых. В стратегии поиска в глубину используется механизм стека: вершина для раскрытия выбирается из головы списка открытых вершин, потомки записываются в голову. В отличие от поиска в пространстве состояний в графах И-ИЛИ [1], [6] необходимо в процессе решения формировать не только списки открытых и закрытых вершин, но списки правил, которые определяют дерево решения.

Для решения задачи моделирования средствами обобщенного программирования C++ разработан класс Poisk_graf_I_ILI. Полями класса Poisk_graf_I_ILI объявляются списки открытых и закрытых вершин и правил, список базы правил, описывающих граф, флаги решения, определяющие результат поиска. Параметрами шаблона являются классы, описывающие правила графа и вершины.

В конструктор класса с параметрами передаются аргументы: список правил графа, целевая вершина и массив заданных вершин. В конструкторе класса вызываются конструкторы создания списков открытых и закрытых вершин и выполняется их инициализация.

```
template < class T , class Tr > // t - Modulprav, Tr - Ver
class Poisk_graf_I_ILI {
public:
int flagys, flagnot, flag_poisk; // флаги решения
Tr cel, *dat ; // вершины- цель и исходные данные
Tr vt ; // Ver
int nd; // число заданных вершин - исходные данные
// списки открытых и закрытых вершин и правил
List <Tr> listOpenNodes;
List <Tr> listCloseNodes;
List <Tr> listZapretNodes;
List <T> listOpenprav;
List <T> listCloseprav;
List <T> listZapretprav;
List <T> baza; // список правил графа
//Конструкторы и методы класса
};
```

Для моделирования списков используется разработанный шаблонный класс List [4], [7], [8], [9]. В конструкторе инициализируется список правил – baza, в список закрытых вершин listCloseNodes записываются заданные вершины, целевая – помещается в голову списка открытых вершин listOpenNodes, задаются флаги решения flagys=1, flagnot=1; flag_poisk=0;

Список закрытых вершин и правил являются рабочей памятью, формируемой в процессе поиска. Список закрытых правил содержит решающий граф. В алгоритме поиска в глубину вершина раскрытия выбирается из головы списка открытых вершин. В графах И-ИЛИ потомки – это конъюнктивные вершины правила, раскрывающие текущую подцель и не входящие в список закрытых, т.е. доказанных. По принципу формирования стека все входные вершины модуля правила, не входящие в список закрытых вершин, записываются в голову списка открытых вершин, а выбранное правило записывается в голову открытого списка правил. Определение потомков подцели, связанных связкой конъюнкции, и формирование списков открытых вершин и правил выполняется в методе potomki_I_ILI_gl () по следующему алгоритму.

Из головы списка открытых вершин выбирается текущая подцель. Выбранная вершина является образцом для поиска в базе правил первого правила, для которого выполняются условия: правило еще не выбиралось (метка правила равна 0), правило не находится в списке запрещенных, вершина, соответствующая заключению правила (выход правила продукции), равна текущей подцели. Поиск выполняется в цикле «пока»:

Пока не конец базы правил и не нашли правила (flag=1) выполняется поиск по образцу. Если рассмотренные условия выполняются, то метка правила устанавливается в 1, флаги поиска сбрасываются: flag_poisk=0; flag=0. Выбранное правило записывается в голову открытого списка правил.

Следующая задача – запись потомков в голову списка открытых вершин. Для этой цели определяется покрытие входных вершин множеством вершин рабочей памяти из списка закрытых вершин. Определяется число известных входов и установка флага в 1 для вершин, входящих в рабочую память: в цикле выполняется проверка вхождения каждой вершины из входов модуля – (m число входов) в список закрытых вершин, во вложенном цикле проверяется условие вхождения каждой вершины из входов модуля – в список закрытых вершин, если входит флаг вершины устанавливается в 1 – вершина закрыта=1.

Если число доказанных входных вершин правила меньше числа входов правила, то остальные вершины, не входящие в рабочую память, записываются в голову списка открытых вершин и будут раскрываться на следующих шагах поиска. Все недоказанные вершины пишем в голову списка открытых вершин, проверяя поле у вершины (flag=1 or flag=0 1), если входят в заданные. Если число входных вершин модуля равно числу вершин, входящих в список закрытых вершин, т.е. покрываются этим множеством – то модуль доказан и новых подцелей на данном шаге нет.

Для выходной вершины модуля флаг устанавливается в 1, что означает вершина доказана и модуль выполнен. Если эта вершина равна целевой вершине, то решение получено, устанавливается флаг решения flagys=0 и выполняется выход из цикла просмотра базы правил. Правила, для которых входы доказаны, должны быть удалены из открытого списка правил и записаны в закрытый список правил. Подцель, соответствующая этой вершине, должна быть переписана в список закрытых вершин, ее флаг просмотра устанавливается в 1.

Если решение не достигнуто, необходимо возвращаться по ветви поиска для проверки предыдущих правил из списка открытых правил, доказывать их выполнение и раскрывать вершины подцелей из списка открытых вершин, т.е. доказывать истинность вершин правил предков. Назовем эту процедуру разметкой правил. Для ее реализации разработан метод класса – *razmetka()*. Этот метод вызывается из метода поиска потомков.

Код метода:

```
int potomki_I_ILI_gl () {
int i,j, k, l ,m, ip,flag, flag_poisk_pr;
flag=1;          flag_poisk_pr=1;
baza.cur=baza .first;
while ( baza.cur && flag==1 ) { //цикл по базе правил
// поиск по образцу – выбор правила
if ( listOpenNodes.first->data == baza.cur->data.vc &&
baza.cur->data.metka ==0 && (baza.cur->data.metka !=-1)) {
baza.cur->data.metka=1; //метка правила
m=baza.cur->data.n; //число входов правила
flag_poisk_pr=0; flag=0; // нашли правило
// в цикле определяется число не известных входов и установка флага
for( i=0,k=0; i<m; i++) { // цикл по списку закрытых вершин
listCloseNodes.cur=listCloseNodes.first; //начало списка
while(listCloseNodes.cur !=0) {
if (listCloseNodes.cur->data == baza.cur->data.mv[i] ) {
k++; //флаг вершины ставим в 1
baza.cur->data.mv[i].flag=1; break;
} // вершину нашли и вышли
listCloseNodes.cur=listCloseNodes.cur->next; }
} // end for
// запись правила в список открытых вершин
listOpen_prav.add_head(baza.cur->data);
// потомки - вершины И правила в список открытых
for(i=0,l=0; i<m; i++)
if( baza.cur->data.mv[i].flag == 0){ l++;
listOpenNodes.add_head( baza.cur->data.mv[i] ); }
if (l==0) razmetka();// вызов метода
} baza.cur = baza.cur->next; // переход по базе правил
} return flag_poisk_pr; }
```

Организация построения дерева решения методом поиска в глубину от цели выполняется в методе *poisk_I_ILI_gl()* по следующему алгоритму.

Пока список открытых вершин не пуст или целевая вершина не достигнута на каждом шаге цикла выполнить:

Вызвать метод *flag_poisk = potomki_I_ILI_gl()*;

Если нашли решение, то вывод решающего графа,

иначе если не нашли правила для вершины подцели, и в открытом списке правил осталось одно правило, то решения нет,

иначе вызов метода возврата (бэктрекинга).

В методе возврата правило и подцели, соответствующие нераскрытым вершинам удаляемого правила, текущая подцель из головы списков открытых правил удаляются и записываются в списки запрещенных вершин и правил. Код метода:

```
void poisk_I_ILI_gl() {
while ( flagys && flagnot ) {
flag_poisk = potomki_I_ILI_gl();
if ( flagys==0) //вывод списка закрытых правил
listClose_prav .print_List();
else
if ( flag_poisk && listOpen_prav.first->next==0 )
flagnot=0; // не решения
else
vozvrat();// вызов метода бэктрекинга
}
```

Результаты тестирования решателя приведены ниже. Для теста используется вышеописанное формализованное представление продукционной базы правил. Конкретное наполнение определяется в словаре. Выводятся следующие данные: фрагмент базы правил – для каждого правила выводится номер правила, выходная вершина, список входных вершин, флаги вершин по умолчанию в нуле. Выводятся список заданных вершин и целевая вершина. Результат работы: список закрытых правил, который содержит граф решения, список запрещенных вершин и правил, полученных в результате поиска.


```

База правил
номер правила 110   вершина выхода вершина 1
  вершины И - входные вершина 3 вершина 2 вершина 12
номер правила 111   вершина выхода вершина 1
  вершины И - входные вершина 8 вершина 13
номер правила 103   вершина выхода вершина 3
  вершины И - входные вершина 11 вершина 10
номер правила 112   вершина выхода вершина 10
  вершины И - входные вершина 14 вершина 15
номер правила 113   вершина выхода вершина 13
  вершины И - входные вершина 18 вершина 16
номер правила 114   вершина выхода вершина 8
  вершины И - входные вершина 16 вершина 17
номер правила 101   вершина выхода вершина 4
  вершины И - входные вершина 5 вершина 6
номер правила 102   вершина выхода вершина 9
  вершины И - входные вершина 7 вершина 8
номер правила 106   вершина выхода вершина 2
  вершины И - входные вершина 4 вершина 7
номер правила 104   вершина выхода вершина 3
  вершины И - входные вершина 11 вершина 5
номер правила 107   вершина выхода вершина 2
  вершины И - входные вершина 9 вершина 8
заданные вершины listCloseNodes
вершина 17 вершина 16 вершина 12 вершина 18 вершина 7 вершина 5 вершина 6
Целевая вершина вершина 1
Решение
  Закрытые правила - результат

номер правила 114   вершина выхода вершина 8
  вершины И - входные вершина 16 вершина 17
номер правила 113   вершина выхода вершина 13
  вершины И - входные вершина 18 вершина 16
номер правила 111   вершина выхода вершина 1
  вершины И - входные вершина 8 вершина 13
  Запрещенные правила

номер правила 110   вершина выхода вершина 1
  вершины И - входные вершина 3 вершина 2 вершина 12
номер правила 104   вершина выхода вершина 3
  вершины И - входные вершина 11 вершина 5
номер правила 103   вершина выхода вершина 3
  вершины И - входные вершина 11 вершина 10
номер правила 112   вершина выхода вершина 10
  вершины И - входные вершина 14 вершина 15
Для продолжения нажмите любую клавишу . . . █

```

Рис. 1 – Результаты тестирования решателя

Заключение

Описывается обобщенный класс C++, реализующий обратный логический вывод в продукционных системах ИИ, описываемых графами И-ИЛИ. Программный инструментальный является основой для разработки полиморфной иерархии классов, использующих коллекцию различных методов поиска для композиции результатов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Новиков Ф.А. Символический искусственный интеллект: математические основы представления знаний / Ф.А. Новиков. Москва: Издательство Юрайт, 2019, 278
- CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. — [Electronic resource]. URL: <http://www.ghgcorp.com/clips/CLIPS.html> (accessed 23.10.2001)
- Jess, the Expert System Shell for the Java Platform. — [Electronic resource]. URL: <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/main.html> (accessed 23.10.2001)
- Седжвик Р. Алгоритмы на C++. Фундаментальные алгоритмы и структуры данных / Р. Седжвик. – М.: Вильямс, 2013. – 1056 с.
- Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е изд / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест и др. – М.: Вильямс, 2013. – 1328 с.

6. Страуструп Б. Язык программирования C++ / Б. Страуструп. СПб.: Бинум, 1999. с. 990.
7. Русакова З.Н. Поиск решений в производственных системах методами обобщенного программирования / З.Н. Русакова // Международный научно-исследовательский журнал № 2 (104). 2021 Часть 1. Февраль.
8. Русакова З.Н. Динамические структуры данных и вычислительные алгоритмы Visual C++ / З.Н. Русакова. Санкт-Петербург. 2014, 272 с.
9. Русакова З.Н. Структуры данных в C++ / З.Н. Русакова, И.В. Рудаков. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2020, с157.
10. Русакова З.Н., Разработка инструментальных средств для решения задач принятия решений / З.Н. Русакова // Интеллектуальные системы. Труды Девятого международного симпозиума, М., РУСАКИ, 2010, 773.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Novikov F.A. Simvolicheskiy iskusstvennyy intellekt: matematicheskie osnovy predstavleniya znaniy [Symbolic artificial intelligence: mathematical foundations of knowledge representation] / F.A. Novikov. Moscow: Yurayt Publishing House, 2019, 278. [in Russian]
2. CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. — [Electronic resource]. URL: <http://www.ghgcorp.com/clips/CLIPS.html> (accessed 23.10.2001)
3. Jess, the Expert System Shell for the Java Platform. — [Electronic resource]. URL: <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/main.html> (accessed 23.10.2001)
4. Sedgwick R. Algoritmy na C++. Fundamental'nye algoritmy i struktury dannyh [Algorithms in C++. Fundamental algorithms and data structures] / R. Sedgwick. - М.: Williams, 2013– - 1056 p. [in Russian]
5. Kormen T. Algoritmy: postroenie i analiz [Algorithms: construction and analysis], 3rd ed. / T. Kormen, Ch. Leiserson, R. Rivest et al. - М.: Williams, 2013. - 1328 p. [in Russian]
6. Stroustrup B. Jazyk programmirovaniya C++. [Programming language C++] / B. Stroustrup. St. Petersburg: Binom, 1999. p. 990. [in Russian]
7. Rusakova Z.N. Poisk reshenij v produkcionnyh sistemah metodami obobshhenogo programmirovaniya [Search for solutions in production systems by methods of generalized programming] / Z.N. Rusakova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. No. 2 (104). 2021 Part 1. February. [in Russian]
8. Rusakova Z.N. Dinamicheskie struktury dannyh i vychislitel'nye algoritmy Visual C++ [Dynamic data structures and computational algorithms of Visual C++] / Z.N. Rusakova. St. Petersburg, 2014, 272 p. [in Russian]
9. Rusakova Z.N. Struktury dannyh v S++ [Data structures in C++] / Z.N. Rusakova, I.V. Rudakov. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. 2020, p. 157. [in Russian]
10. Rusakova Z.N. Razrabotka instrumental'nyh sredstv dlja reshenija zadach prinjatija reshenij [Development of tools for solving decision-making problems] / Z.N. Rusakova // Intellektual'nye sistemy. Trudy Devjatogo mezhdunarodnogo simpoziuma [Intelligent systems. Proceedings of the Ninth International Symposium]. Moscow, RUSAKI, 2010, 773. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.012>**АНАЛИЗ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК ОТ ОДНОЛЕТНИХ ТОРОСОВ
НА МОРСКИЕ НЕФТЕГАЗОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПО НОРМАМ РАЗЛИЧНЫХ СТРАН**

Обзорная статья

Сабодаш О.А.¹, Бондаренко С.В.^{2, *}, Левченко Л.Е.³^{1, 2, 3} Дальневосточный Федеральный Университет, Владивосток, Россия

* Корреспондирующий автор (Sophiebondarenko.29[at]mail.ru)

Аннотация

Уменьшение запасов нефти и газа на территориях их легкодоступной добычи побуждает правительство России осваивать нефтегазовые месторождения на территории континентального шельфа. На 2021 год ПАО «НК «Роснефть» владеет лицензиями на 52 участка в акваториях арктических, дальневосточных и южных морей России. Ресурсы углеводородов по этим участкам оцениваются в 41 миллиард тонн нефтяного эквивалента. Строительство нефтегазовых сооружений в таких районах может нести существенные денежные затраты. Анализ и разработка методов расчета, учитывающих ледовую нагрузку, может существенно снизить затраты. В данной работе произведен анализ основных нормативных методик расчета ледовой нагрузки от однолетних торосов по нормам различных стран.

Ключевые слова: ледовая нагрузка, шельфовые сооружения, нормы.**AN ANALYSIS OF ICE LOADS FROM ANNUAL HUMMOCKS
ON OFFSHORE OIL AND GAS FACILITIES ACCORDING TO THE NORMS OF VARIOUS COUNTRIES**

Review article

Sabodash O.A.¹, Bondarenko S.V.^{2, *}, Levchenko L.E.³^{1, 2, 3} Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

* Corresponding author (Sophiebondarenko.29[at]mail.ru)

Abstract

The decrease in oil and gas reserves in the territories of their easily accessible production encourages the Russian government to develop oil and gas fields on the continental shelf. As of 2021, Rosneft owns licenses for 52 sites in the waters of the Arctic, Far Eastern and southern seas of Russia. Hydrocarbon resources in these areas are estimated at 41 billion tons of oil equivalent. The construction of oil and gas facilities in such areas can incur significant monetary costs, while an analysis and development of calculation methods that take into account the ice load can significantly reduce costs. The current article also features an analysis of the main regulatory methods for calculating the ice load from annual hummocks according to the norms of various countries.

Keywords: ice load, offshore structures, norms.**Введение**

ПАО «НК «Роснефть», по состоянию на 2021 год, открыла три арктических газовых месторождений в Карском море. Ресурсы углеводородов на этих участках суммарно оцениваются примерно в 2 млрд т нефти и 3,7 трлн куб.м газа. Освоение этих участков повлечет за собой масштабное строительство гидротехнических сооружений, которые в зимнее время подвергаются ледовым нагрузкам. Наиболее опасную нагрузку несут однолетние торосы. Торосы образуются из тонких льдов при сильном сжатии, структурно состоят из паруса, консолидированной части и киля (рис.1).

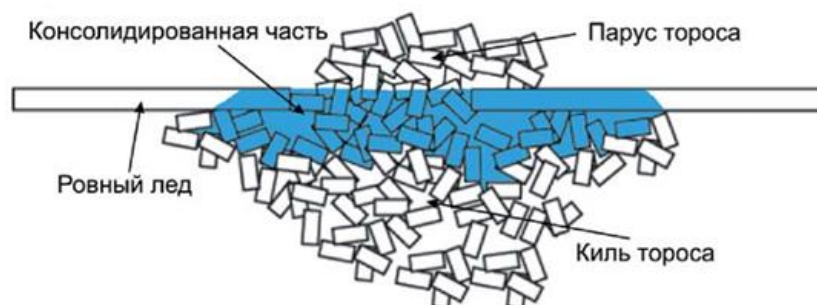


Рис. 1 – Схематичное строение тороса

Основная часть*Краткая характеристика ледового режима Карского моря*

В юго-западной части Карского моря, вдоль полуострова Ямал распространяется узкая зона припая, дальше зона полыньи, состоящая из молодых льдов. При определенных погодных условиях возникает дрейф льда перпендикулярно границам берега и припая. Возникает сильно сжатие, в результате которого тонкие льды формируют мощные гряды торосов глубинами до 20 м.

Карское море покрыто льдом на протяжении 7–8 месяцев в году. В юго-западной части лед наблюдается в период с ноября по июль, в северо-восточной части лед местами присутствует даже в летний период. В зимние месяцы неподвижный лед бывает только у береговой линии в форме припая, за ним – плавучие льды. Ледяной покров в толщине может достигать 1,5 м. Таяние, в среднем, начинается в конце мая. В июне вытаивают однолетние льды, распадаясь на

дрейфующие ледяные поля. В конце лета ото льда освобождается около 60% водной территории. В первый осенний месяц процесс таяния останавливается, в северных районах уже начинается процесс ледообразования.



Рис. 2 – Сформировавшийся торос

Постановка задачи

Основная цель данного обзора состоит в том, чтобы на заданном примере (см. таблица 1) оценить эффективность нормативных методик расчета ледовой нагрузки различных стран. Рассмотрены следующие методики: СП 38.13330.2018, DNV 2013, MPC 2018 2-020201-015, ISO 19906–2019.

Таблица 1 – Исходные данные

b_u , м	h_f , м	t , °C	γ , ‰	V , м/с
50	0,6	-10	3,5	0,5

где, h_f , м – толщина льда на момент образования тороса;

b_u - ширина опоры, м;

γ , ‰ – соленость;

t , °C- температура льда

V , м/с- скорость дрейфа льда.

СП 38.13330.2018. Нагрузка от воздействия движущихся торосов и стамух на сооружения вертикального и откосного профиля определяется как сумма [1]:

$$F_r = F_u + F_c + F_k, \quad (1)$$

где F_u – нагрузка от надводной части ледяного образования (паруса), МН

F_c – нагрузка от консолидированной части ледяного образования, МН

F_k – нагрузка от подводной части ледяного образования (киля), МН

Каждая из нагрузок отдельно учитывает горизонтальную и вертикальную составляющие.

При расчете нагрузки от паруса следует учитывать следующие данные: пористость ледяного образования, среднюю ширину преграды по фронту в зоне действия ледяного образования, сцепление между обломками льда, угол внутреннего трения ледяного образования.

При расчете нагрузки от килля рекомендуется учитывать: расчетную глубину килля ледяного образования, коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления нагромождения обломков льда.

DNV 2013. Нагрузка от килля тороса на наклонные сооружения вычисляется по формуле[6]:

$$F_k = \mu_\phi h_k w \left(\frac{h_k \mu_\phi \gamma_e}{2} + 2c \right) \left(1 + \frac{h_k}{6w} \right) \quad (2)$$

Она зависит от коэффициента статического давления, условного удельного сцепления килля, пористости килля.

Нагрузка от консолидированного слоя рассчитывается как сумма горизонтальных и вертикальных компонентов силы:

$$F_c = F_{H,c} + F_{H,v} \quad (3)$$

где, $F_{H,c}$ - горизонтальная компонента силы, МН;

$F_{H,v}$ - вертикальная компонента силы, МН.

Горизонтальная компонента силы учитывает 5 видов нагрузки: нагрузку, необходимую для проталкивания ледяных обломков вверх; нагрузку, необходимую для проталкивания ледового покрова через ледяные обломки; нагрузку, необходимую для подъема ледяных обломков над надвигающимся ледяным покровом до его разрушения; нагрузку, необходимую для продвижения ледового блока на вершину наклонной грани.

MPC 2018 2-020201-015. В данном ГОСТе нагрузка от килля торося рассчитывается так же, как и в DNV 2013. Нагрузка от консолидированной части равняется сумме горизонтальной и вертикальной составляющих нагрузки [2].

ISO 19906–2019. Нагрузка от торося [7]:

$$F_R = F_C + F_k, \quad (4)$$

где F_C - нагрузка от консолидированной части ледяного образования, МН

F_k - нагрузка от подводной части ледяного образования, МН

Нагрузка от подводной части ледяного образования вычисляется аналогично *MPC 2018 2-020201-015* и DNV 2013. Расчет нагрузки от консолидированной части торося отдельно учитывая горизонтальную составляющую (аналогичную по расчету DNV 2013) и вертикальную составляющую.

Обсуждение результатов

Из рассмотренных ГОСТов: СП 38.13330.2018, DNV 2013, MPC 2018 2-020201-015, ISO 19906–2019, наиболее подробные расчеты предоставляет СП 38.13330.2018, в котором помимо нагрузок от килля торося и консолидированной части, так же учитывается нагрузка от паруса торося.

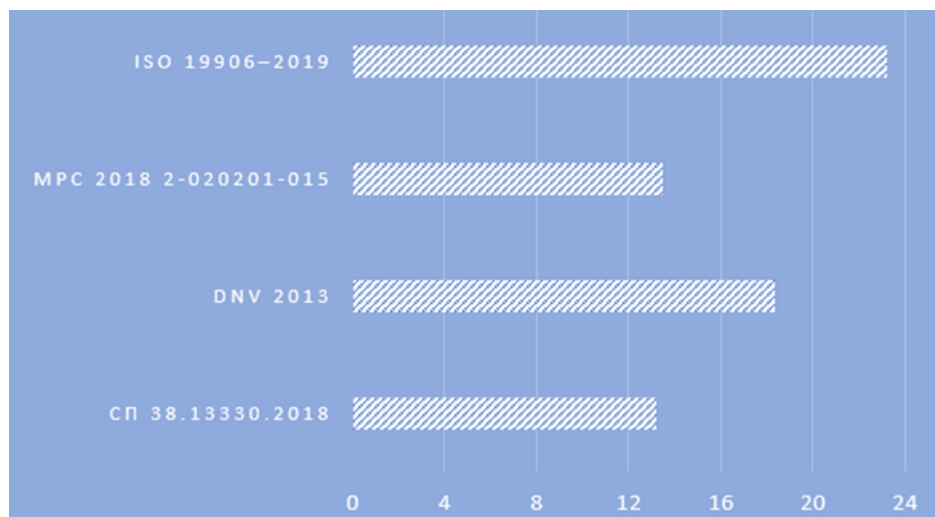


Рис. 3 – Сравнение общей нагрузки от торося для 4 ГОСТов

Несмотря на то, что в ГОСТах ISO 19906–2019, DNV 2013, MPC 2018 2-020201-015 расчет нагрузки от килля торося производится по одной и той же формуле:

$$F_k = \mu_\phi h_k w \left(\frac{h_k \mu_\phi \gamma_e}{2} + 2c \right) \left(1 + \frac{h_k}{6w} \right) = 5,24 \text{ МН} \quad (5)$$

Значения общей нагрузки отличаются друг от друга в виду того, что при расчете нагрузки от консолидированной части учитывается различный тип состава торося. В DNV 2013 горизонтальная компонента силы учитывает 5 видов нагрузки, в то время как в ISO 19906–2019 она разделяется только на горизонтальную и вертикальную.

Наибольшая общая нагрузка от воздействующего движущегося торося на гидротехническое сооружение получилась при расчете по ISO 19906–2019. Этого произошло из-за того, что данная нормативная методика разделяется нагрузку горизонтальную компоненту нагрузки от консолидированной части на 5 составляющих.

Заключение

В данной работе были рассмотрены следующие нормативные методики для расчета ледовой нагрузки от однолетних торося на гидротехнические сооружения: СП 38.13330.2018, DNV 2013, MPC 2018 2-020201-015, ISO 19906–2019. В результате сравнения нельзя сделать вывод о принципиальном превосходстве одного из методов над другим. Можно говорить о том, что нормы РФ недостаточно гармонизированы и интегрированы с нормами европейских стран, что затрудняет процесс обмена опытом между странами континентального шельфа.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). - Введ. 17.02.2019.-М.: Стандартиформ, 2019 г.- 24 с.
2. МРС 2018 2-020201-015. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. - Введ. 04.04.2018.-М.: Российский морской регистр судоходства, 2018 г.- 117 с.
3. Павлов В.А. Особенности развития консолидированного слоя гряд торосов в морях Карском и Лаптевых / В.А. Павлов, К.А. Корнишин, Е.У. Миронов и др. // Нефтяное хозяйство: Журнал. — 2016. — № 11. — С. 49-57.
4. Ким С. Д. Определение ледовых нагрузок на сооружения континентального шельфа по нормам различных стран. / С. Д. Ким, О. М. Финагенов, Т.Э. Уварова // Современные подходы и перспективные технологии в проектах освоения нефтегазовых месторождений российского шельфа. Серия 3. – 2013. - №3. - С. 97–103.
5. СТО Газпром 2-3.7-29-2005. Методика расчета ледовых нагрузок на ледостойкую стационарную платформу. - Введ. 12.08.2005. М., 2005.
6. DNV 2013. Submarine Pipeline Systems. - Introduced. 01.10.2013
7. ISO 19906–2019. Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures. - Introduced. 07.2019.
8. Germanischer Lloyd Oil and Gas GmbH: General Terms and Conditions. Hamburg, 2005.
9. US Army Corps of Engineers. Engineering and Design-Ice Engineering. USACE Engineer Manual EM 1110-2-1612, 2006.
10. API RP 2N. Recommended practice for planning, designing and constructing structures and pipelines for Arctic conditions // Amer: Petroleum Inst. Bulletin. Dallas, 1995.

Список литературы на английском языке / References in English

1. SP 38.13330.2018. Nagruzki i vozdejjstvija na gidrotekhnicheskie sooruzhenija (volnovye, ledovye i ot sudov) [Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice and from ships)]. - Effective 17.02.2019.-Moscow: Standartinform, 2019- 24 p. [in Russian]
2. MRS (Russian Maritime Shipping Register) 2018 2-020201-015. Pravila klassifikacii, postrojki i oborudovanija plavuchikh burovnykh ustanovok i morskikh stacionarnykh platform [Rules for classification, construction and equipment of floating drilling rigs and offshore stationary platforms]. - Effective 04.04.2018.-Moscow: Russian Maritime Register of Shipping, 2018- 117 p. [in Russian]
3. Pavlov V.A. Osobennosti razvitija konsolidirovannogo sloja grjad torosov v morjakh Karskom i Laptevykh [Features of the development of the consolidated layer of hummock ridges in the Kara and Laptev seas] / V.A. Pavlov, K.A. Kornishin, E.U. Mironov, et al. // Neftjanoe khozjajstvo: Zhurnal [Oil industry: Journal]. - 2016. - No. 11. - pp. 49-57 [in Russian]
4. Kim S. D. Opredelenie ledovykh nagruzok na sooruzhenija kontinental'nogo shel'fa po normam razlichnykh stran [Determination of ice loads on the structures of the continental shelf according to the norms of various countries] / Kim S. D. O. M. Finagenov, T.E. Uvarova. // Sovremennye podkhody i perspektivnye tekhnologii v proektakh osvoenija neftegazovykh mestorozhdenij rossijskogo shel'fa. Serija 3. [Modern approaches and promising technologies in projects for the development of oil and gas fields of the Russian shelf. Series 3]. – 2013. - №3. - Pp. 97-103 [in Russian]
5. STO Gazprom 2-3.7-29-2005. Metodika rascheta ledovykh nagruzok na ledostojkiju stacionarnuju platformu [The method of calculating ice loads on an ice-resistant stationary platform]. - Effective 12.08.2005. Moscow, 2005 [in Russian]
6. DNV 2013. Submarine Pipeline Systems. - Introduced. 01.10.2013
7. ISO 19906–2019. Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures. - Introduced. 07.2019.
8. Germanischer Lloyd Oil and Gas GmbH: General Terms and Conditions. Hamburg, 2005.
9. US Army Corps of Engineers. Engineering and Design-Ice Engineering. USACE Engineer Manual EM 1110-2-1612, 2006.
10. API RP 2N. Recommended practice for planning, designing and constructing structures and pipelines for Arctic conditions // Amer: Petroleum Inst. Bulletin. Dallas, 1995.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.013>

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОТУ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН

Научная статья

Тимохова О.М.^{1,*}, Кручинин И.Н.², Тимохов Р.С.³

¹ ORCID: 0000-0003-3179-6382;

² ORCID: 0000-0002-7598-9672;

³ ORCID: 0000-0002-1474-7610;

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

³ Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия

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

Аннотация

Увеличение температуры и степени сжатия рабочего газа при сжигании топлива позволяет повышать мощность двигателя. В связи с этим, проблема увеличения рабочей температуры в камере сгорания за счет снижения потерь тепла в системе охлаждения не теряет своей актуальности. Использование теплозащитных покрытий является одним из перспективных направлений для решения сложившейся проблемы. Главными функциями теплозащитных покрытий для двигателя являются минимизация тепловых потерь в камере сгорания и обеспечение защиты металлической основы от влияния высоких температур. В результате использования теплозащитных покрытий происходит уменьшение тепловых и механических нагрузок на детали, снижение жесткости работы двигателя лесной машины и максимального давления газов в цилиндре. На частичных нагрузках, характерных для эксплуатационных режимов работы двигателя, покрытия снижают удельный расход топлива, что способствует снижению шума и вибрации и увеличению срока службы двигателей лесных машин.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, теплозащитные покрытия, тепловые потери, термостойкость, экономичность, расход топлива.

ON THE INFLUENCE OF THERMAL PROTECTION COATINGS ON THE OPERATION OF DIESEL ENGINES OF FOREST MACHINES

Research article

Timokhova O.M.^{1,*}, Kruchinin I.N.², Timokhov R.S.³

¹ ORCID: 0000-0003-3179-6382;

² ORCID: 0000-0002-7598-9672;

³ ORCID: 0000-0002-1474-7610;

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

³ Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia

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

Abstract

An increase in the temperature and compression ratio of the operating fluid during fuel combustion makes it possible to increase engine power. In this regard, the problem of increasing the operating temperature in the combustion chamber by reducing heat loss in the cooling system is still relevant. The use of heat-protective coatings is one of the promising directions for solving the current problem. The main functions of thermal protection coatings for the engine are to minimize heat losses in the combustion chamber and to protect the metal base from the influence of high temperatures. As a result of the use of such coatings, thermal and mechanical loads on the parts are reduced along with the rigidity of the engine of the forest machine and the maximum gas pressure in the cylinder. At partial loads typical of engine operating modes, the thermal protection coatings reduce specific fuel consumption, which helps to reduce noise and vibration and increase the service life of forest machinery engines.

Keywords: internal combustion engine, thermal protection coatings, heat losses, heat resistance, efficiency, fuel consumption.

Введение

Снижение и потеря работоспособности двигателей лесных машин происходит в основном по причине абразивного износа в парах трения (износ поршневых колец, гильз цилиндров, подшипников коленчатых валов, кулачков распредвалов и т. п.), износа, возникшего в результате кавитации и наличие коррозионно-механического износа. Для эффективной работы двигателя одним из направлений, позволяющим повысить экономичность двигателя, будет применение эффективной изоляции камеры сгорания теплозащитным покрытием (ТЗП). Применение теплозащитных покрытий позволит минимизировать тепловые потери через охлаждающую и выхлопную системы за счет перераспределения рассеянного тепла. Кроме того с помощью применения теплозащитных покрытий деталей лесных машин можно обеспечить высокую износостойкость и коррозионную защиту, а также снизить их температуру.

Исследования теплового состояния двигателя [1], [2], [3] выявили, что с помощью металлокерамических (керметных) покрытий днища поршня и выпускного канала головки цилиндра можно существенно снизить тепловые напряжения поршня, головки цилиндров и клапанов. При этом температура поверхности покрытия значительно выше температуры поверхности цилиндра и днища головки, не имеющих покрытий. Учитывая значительное влияние температуры стенок камеры сгорания на рабочий процесс дизеля, мы исследовали влияние керметных покрытий днища поршня и выпускного канала головки цилиндра на некоторые показатели рабочего процесса дизеля Д-21 А.

В качестве исследуемого трактора был выбран колесный трактор универсального назначения Т-25А. Данный трактор относится к тяговому классу 0,6 т и предназначен для трелевки древесины на рубках ухода и перевозки груза, работы в питомниках, садах, ягодниках.

Для нанесения покрытия использовалась ионно-плазменная камерная вакуумная ННВ-6.6-И1, которая предназначена для нанесения упрочняющих однослойных и многослойных покрытий способом конденсации вещества с ионной бомбардировкой [9], [10]. Исследование проводили с покрытием, нанесенным в четыре слоя: подслоя из NiCrAlY, первый слой со стороны деталей – 4 % Y₂O₃, 16% ZrO₂+80% Ni, второй слой – 50% ZrO₂+50% Ni, третий слой – 80% ZrO₂+20% Ni. Для измерения толщины пленки используется микроинтерферометр МИИ-4. Толщина покрытия составляла 0,60...0,65 мм.

Влияние теплоизоляционных покрытий на некоторые параметры процессов наполнения, сжатия и сгорания можно проанализировать с помощью известных зависимостей [3], [5].

Температуру воздуха в конце процесса наполнения можно определить по формуле:

$$T_{a_2} = T_{a_1} (T_{окр} + \Delta T_2) : (T_{окр} + \Delta T_1),$$

где $T_{окр}$ – температура воздуха на впуске;

ΔT – подогрев воздуха в процессе наполнения.

Индексом 1 отмечены параметры рабочего процесса без покрытия, индексом 2 – с покрытием

Высокая температура поверхности покрытия поршня увеличивает подогрев заряда ΔT_2 , а снижение температуры поверхности впускного канала и днища головки цилиндра за счет тепловой изоляции выпускного клапана, а также снижение температуры стенок цилиндра уменьшает ΔT_2 .

Высокая температура поверхности камеры сгорания не оказывает заметного влияния на давление воздуха в конце наполнения. Коэффициент наполнения при наличии покрытий на деталях изменяется обратно пропорционально изменению абсолютной температуры конца наполнения:

$$\eta_{v_2} = \eta_{v_1} \cdot \frac{T_{a_1}}{T_{a_2}}.$$

Параметры заряда в конце процесса сжатия при наличии покрытий изменяются по следующей закономерности:

$$T_{c_2} = T_{c_1} \cdot \frac{T_{a_2}}{T_{a_1}} \cdot \varepsilon^{n'_1 - n_1}; \quad P_{c_2} = P_{c_1} \cdot \varepsilon^{n'_1 - n_1}$$

где $n'_1 - n_1$ – средние показатели политропы сжатия без покрытий и с покрытиями на деталях.

Высокая температура поверхности покрытия камеры сгорания способствует увеличению показателя политропы сжатия и приводит к увеличению давления и температуры в конце сжатия.

Коэффициент избытка воздуха при сгорании изменяется пропорционально изменению коэффициента наполнения:

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot \frac{\eta_{v_2}}{\eta_{v_1}} \cdot \frac{\gamma_{e_2}}{\gamma_{e_1}},$$

где γ_e – плотность поступившего в цилиндр воздуха.

При неизменных условиях на впуске величина коэффициента избытка воздуха зависит от степени подгрева заряда на впуске и может изменяться в сторону увеличения или уменьшения. Так как тепловая изоляция камеры сгорания приводит к росту давления и температуры сжатия, и горячая поверхность покрытия ускоряет предпламенную подготовку топлива, период задержки самовоспламенения топлива τ_i сокращается.

Максимальная и средняя скорости $\frac{dP}{d\alpha}$ нарастания давления и степень повышения давления λ , при сгорании при наличии покрытий также уменьшаются, что видно из зависимостей [6], [9], [10]:

$$\left(\frac{dP}{d\alpha} \right)_{\max} = b \cdot e^{k \cdot \tau_i}; \quad \frac{dP}{d\alpha} = a \cdot \tau_i; \quad \lambda = c + m \cdot \tau_i$$

Опытные коэффициенты a, b, c, k, m , входящие в эти зависимости, являются универсальными для большинства дизельных двигателей.

Максимальное давление цикла изменяется по формуле:

$$P_{z_2} = P_{z_1} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot e^{n_1' - n_1}$$

По данным исследований двигателей с теплоизолированными поршнями [5], [7], [8] множитель $\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)$ значительно меньше единицы. Это указывает на уменьшение максимального давления сгорания и в цилиндре с теплоизолированными деталями.

Удельный расход топлива зависит как от характера процесса сгорания, так и от изменения теплового баланса двигателя. Например, снижение теплоотдачи в стенке при покрытиях может повысить коэффициент полезного действия двигателя. Однако при этом увеличивается выброс неиспользованного тепла с отработавшими газами, что ухудшает экономичность двигателя. В то же время при работе двигателя с турбонаддувом более высокая энергия выхлопных газов в случае повышения их температуры может полезно использоваться. Поэтому математический анализ влияния покрытий на удельный расход топлива и другие параметры, зависящие от характера протекания рабочего процесса, нецелесообразно.

Для выявления оптимальной регулировки двигателя по топливоподаче были сняты регулировочные характеристики по углу опережения подачи и по расходу топлива на номинальном скоростном режиме.

Оптимальный угол начала подачи топлива $\Theta_{n,onn}$ определяется по удельному расходу g_e и составляет для двигателя как с наддувом, так и без наддува на номинальном режиме 24° .

Покрытие керметного состава при неизменном $\Theta_{n,onn}$ ухудшило экономичность дизеля на 4...5 г/э. л. с. ч. При уменьшении $\Theta_{n,onn}$ на 2...3° эффективный удельный расход вошел в норму, но не улучшился. Таким образом, при применении в дизеле воздушного охлаждения керметного покрытия поршня в сочетании с покрытием выпускного канала головки цилиндра на алюминиевой основе эффективный расход топлива сохраняется, но при этом угол опережения подачи топлива должен быть уменьшен. Для двигателя Д-21А с теплоизолированным поршнем при толщине покрытия 0,6 мм оптимальный угол начала подачи топлива составил на номинальном режиме 21° .

Коэффициент наполнения двигателя без наддува η_v и с наддувом η_{vk} (без учета продувки) при наличии керметных покрытий на всех нагрузках практически остается без изменений. Неизменность наполнения цилиндров в данном случае объясняется уменьшением подогрева свежего заряда за счет снижения температуры впускного канала головки цилиндров, днища головки и стенок цилиндра, что компенсирует ухудшение наполнения за счет повышения температуры поверхности покрытия на поршне.

Удельный расход топлива при нагрузках менее 80% эффективной мощности снижается на 1,15...3,0 мкг/Дж.

Коэффициент избытка воздуха двигателя без наддува α и с наддувом α_c (без учета продувки) при нагрузках до 80% эффективной мощности несколько повышается за счет снижения удельного расхода топлива на этих нагрузках. При больших нагрузках в условиях неизменности наполнения при покрытиях α и α_c не изменились, так как удельный расход топлива на этих нагрузках также сохраняется.

Дымность отработавших газов (D) уменьшилась на 25...30%, что свидетельствует о более полном сгорании топлива при покрытиях камеры сгорания [3], [4], [5]. Сохранение экономичности дизеля при уменьшении дымности отработавших газов указывает на то, что на удельный расход топлива при покрытиях влияет, очевидно, не только полнота сгорания, но и другие факторы протекания рабочего процесса.

Снижение удельного расхода топлива при покрытиях с уменьшением нагрузки свидетельствует о том, что повышение температуры поверхности покрытия поршня при этих нагрузках является решающим для более полного и быстрого сгорания. Температура отработавших газов t_z при покрытиях повысилась на номинальном режиме на 40...60° С.

Исследование рабочего процесса двигателя показало, что в результате большего подогрева воздушного заряда в процессе сжатия при наличии покрытия на поршне и выхлопном канале головки цилиндра давление и температура сжатия к моменту впрыска топлива повысились на 4...4,5%. Это обстоятельство, а также повышение температуры поверхности камеры сгорания привело к сокращению периода задержки самовоспламенения топлива на 25...28%.

Максимальное давление сгорания уменьшилось на 5...6%, при этом снижается скорость нарастания давления на 18...21%, в результате степень повышения давления снизилась на 6...8%. При этом большие значения величин характерны для дизеля без наддува, меньшие – для дизеля с наддувом.

Эффективное давление и КПД двигателя на номинальных режимах при оптимальных углах подачи топлива не изменились.

Заключение

Таким образом, металлокерамические покрытия на поршне и выпускном канале головки цилиндра снижают температуры деталей, жесткость работы двигателя лесной машины и максимальное давление газов в цилиндре. На частичных нагрузках, характерных для эксплуатационных режимов работы двигателя, покрытия снижают удельный расход топлива. Все это способствует уменьшению тепловых и механических нагрузок на детали, снижению шума и вибрации и увеличению срока службы двигателей лесных машин, повышению экономичности и возможности дальнейшего его форсирования.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Никитин, М.Д. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизелей / М.Д. Никитин, А.Я. Кулик, Н.И. Захаров. – Л.: Машиностроение, 1977. – 168 с.
2. Шпаковский В.В. Влияние частично-динамической теплоизоляции на температурное состояние поверхности поршня / В.В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. 2010. № 2. С. 92-95.
3. Ильющенко, А. Ф. Формирование газотермических покрытий: теория и практика / А. Ф. Ильющенко, В. А. Оковитый, С. П. Кундас и др. – Минск: Беспринт, 2002. – 480 с.
4. May U. Technology potential of ceramic piston pins / U. May, F. Stromberger, J. Kohl et al. // MTZ. – 2008. – No. 5. – P. 46–51.
5. Шерепова, Н.В. Теоретический и экспериментальный анализ сопротивления термоударам деталей камер сгорания из конструкционной керамики / Н.В. Шерепова, С.А. Захаров // Двигателестроение. – 1991. – № 6. – С. 40-42.
6. Cho J.E. Surface & Coatings Technology / J.E. Cho, S.Y. Hwang, K.Y. Kim, 200 (2006) 2653–2662.
7. Grigoriev, S.N. Modification of the structure and properties of high-speed steel by combined vacuum-plasma treatment / S.N. Grigoriev, A.S. Metel, S.V. Fedorov, // Metal Sci. Heat Treat., 2012, vol. 54, pp. 8-12.
8. Di Girolamo G. Microstructure and Wear Behavior of Plasma-Sprayed Nanostructured WC–Co Coatings / G. Di Girolamo, L. Pilloni, G. Pulci et al. // Journal of the American Ceramic Society, 92 [5] (2009) 1118–1124.
9. Cherkasova, N.Yu. Increase of exploitation parameters of cutting ceramic plates by surface mechanical and ion-plasma treatment / N.Yu. Cherkasova, M.A. Volosova, // Stanki Instrum., 2012, no. 12, pp. 19-23.
10. Sarwar, M. Characteristics and machining performance of TiN and TiAlN coatings on a milling cutter / M. Sarwar, J. Haider, // AIP Conf. Proc., 2010, no. 1315, pp. 1005-1010.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nikitin, M.D. Teplozashhitnye i iznosostojkie pokrytija detalej dizelej [Heat-protective and wear-resistant coatings of diesel engine parts] / M.D. Nikitin, A.Ya. Kulik, N.I. Zakharov. - L.: Mechanical Engineering, 1977. - 168 p. [in Russian]
2. Shpakovsky V.V. Vlijanie chastichno-dinamicheskoy teploizoljatsii na temperaturnoe sostojanie poverhnosti porshnja [Influence of partially dynamic thermal insulation on the temperature state of the piston surface] / V.V. Shpakovskij // Dvigateli vnutrennego sgoranija [Internal combustion engines]. 2010. No. 2. pp. 92-95. [in Russian]
3. Pyushenko, A. F. Formirovanie gazotermicheskikh pokrytij: teorija i praktika [Formation of gas-thermal coatings: theory and practice] / A. F. Ilyushenko, V. A. Okovity, S. P. Kundas et al. - Minsk: Besprint, 2002. - 480 p. [in Russian]
4. May U. Technology potential of ceramic piston pins / U. May, F. Stromberger, J. Kohl et al. // MTZ. – 2008. – No. 5. – P. 46–51.
5. Sharipov, N. In. Teoreticheskij i jeksperimental'nyj analiz soprotivlenija termoudaram detalej kamer sgoranija iz konstrukcionnoj keramiki [Theoretical and experimental analysis of the thermal shock resistance of the parts of the combustion chambers of structural ceramics] / N. In. Sharapova, S. A. Zakharov // Dvigatellestroenie [The Engine]. - 1991. - No. 6. - pp. 40-42. [in Russian]
6. Cho J.E. Surface & Coatings Technology / J.E. Cho, S.Y. Hwang, K.Y. Kim, 200 (2006) 2653–2662.
7. Grigoriev, S.N. Modification of the structure and properties of high-speed steel by combined vacuum-plasma treatment / S.N. Grigoriev, A.S. Metel, S.V. Fedorov, // Metal Sci. Heat Treat., 2012, vol. 54, pp. 8-12.
8. Di Girolamo G. Microstructure and Wear Behavior of Plasma-Sprayed Nanostructured WC–Co Coatings / G. Di Girolamo, L. Pilloni, G. Pulci et al. // Journal of the American Ceramic Society, 92 [5] (2009) 1118–1124.
9. Cherkasova, N.Yu. Increase of exploitation parameters of cutting ceramic plates by surface mechanical and ion-plasma treatment / N.Yu. Cherkasova, M.A. Volosova, // Stanki Instrum., 2012, no. 12, pp. 19-23.
10. Sarwar, M. Characteristics and machining performance of TiN and TiAlN coatings on a milling cutter / M. Sarwar, J. Haider, // AIP Conf. Proc., 2010, no. 1315, pp. 1005-1010.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.014>

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВКИ ПШЕНИЦЫ

Научная статья

Федотов В.А.^{1,*}, Берестова А.В.², Манеева Э.Ш.³

¹ ORCID: 0000-0002-3692-9722;

^{1, 2, 3} Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

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

Аннотация

В статье приведена сравнительная оценка структурно-механических свойств частей зерновки в связи с генотипическими признаками пшеницы, ее структурой, химическим составом зерновки. В ходе исследований производили измерения степени упругости и жесткости оболочек зерновок на приборе-аналоге твердомера Брабендера. Прочность оценивалась косвенно по разрушающему усилию при надавливании на зерно. Оценивали влияние условий хранения зерновки, сравнивали нормальное зерно, а также зерно, захваченное морозом и после сушки. Выявлена связь прочностных качеств зерна, характеризующихся его микротвердостью и индексом прочности при помоле пшеницы разной степени твердости на производстве. Для пшениц твердых и твердозерных сортов требуется усилие на сжатие в 2 - 4 раза больше, чем для мягкозерных сортов.

Ключевые слова: структурно-механические свойства, качество зерна, зерно пшеницы, жесткость, твердомер.

FORMATION OF STRENGTH PROPERTIES OF WHEAT GRAINS

Research article

Fedotov V.A.^{1,*}, Berestova A.V.², Maneeva E.Sh.³

¹ ORCID: 0000-0002-3692-9722;

^{1, 2, 3} Orenburg State University, Orenburg, Russia

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

Abstract

The article presents a comparative assessment of the structural and mechanical properties of the parts of the grain in connection with the genotypic characteristics of wheat, its structure, chemical composition of the grain. In the course of the research, the degree of elasticity and stiffness of the grain shells were measured on a device analogous to the Brabender hardness tester. The strength was estimated indirectly based on the breaking force when pressing on the grain. The study evaluates the influence of grain storage conditions, compares normal grain, as well as frozen grain and after drying. The article determines the relationship between the strength qualities of grain characterized by its microhardness and the strength index when grinding wheat of different degrees of hardness during production. For hard and hard-grain wheat varieties, the required compressive force is 2-4 times more than for soft-grain varieties.

Keywords: structural and mechanical properties, grain quality, wheat grain, stiffness, hardness tester.

Введение

Показатели качества пшеницы можно представить как многокомпонентную систему, зависящую от большого количества биологических и агроэкологических факторов. Отдельные показатели характеризуются высокой степенью изменчивости [1, С. 107]. При подборе наилучших режимов переработки зерна необходима максимально полная информация о всем комплексе таких показателей, что определяет необходимость их учета на всех этапах технологического процесса [2, С. 140]. Весомый вклад при формировании качеств продуктов переработки зерна пшеницы привносят генотипические и климатические факторы [3, С. 152]. Однако, характер их совместного влияния часто трудно оценить и прогнозируем. Методики экспрессного анализа показателей качества зернового сырья часто характеризуются большой трудоемкостью [4, С. 27]. Целью исследования стала сравнительная оценка структурно-механических свойств различных морфологических элементов зерна в зависимости от генотипических (сортовых) особенностей пшеницы, структуры зерновки, влажности.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили образцы зерна твердой (сорт Харьковская 3) и мягкой (Юго-Восточная 3, Саратовская 42, Оренбургская 13 и Варяг) пшеницы Оренбургской области урожая 5-ти лет.

Проводили исследования упругости и жесткости оболочек зерна в зависимости от его влажности и стекловидности. Испытания проводили на специально сконструированном приборе (аналог твердомера Брабендера). Прибор состоит из следующих основных частей: штатив, на котором закреплен диск с двумя транспортными дисками; ручка со стрелкой для поворота оси в центре диска; пружинный зажим и стрелка. Испытуемый образец укрепляли между верхним и нижним зажимами. Поворачивая ручку по часовой стрелке, производили изгиб образца оболочки под действием веса стрелки [5, С. 29].

Зерно предварительно выравнивали по крупноте и стекловидности. Для исследования брали сход с сита 2,4x20 мм. Зерно помещали в бюксы с водой. После того как эндосперм размягчался настолько, что его можно было отделить от оболочек, приступали к их снятию. Зерно клали бороздкой вверх, бороздкой к себе и разрезали бритвой на две половины. Из бюкса вынимали оболочку, обрезали ее в продольном направлении с двух сторон, затем зажимали концами в пружинных зажимах, один из которых расположен на оси прибора, а другой - на конце грузовой стрелки. После закрепления оболочки в зажимах, ось прибора вставляли в отверстие диска таким образом, что указатель величины угла поворота и стрелка с закрепленной оболочкой устанавливались на нулевом делении. Хотя при увлажнении в зерне происходит некоторое выщелачивание водорастворимых веществ, данный метод обеспечивает получение вполне

достоверных и сравнимых результатов [6, С. 77]. Также структурно-механические свойства зерна определяли по показателю микротвердости с помощью микропенетromетра Минилоад, индексу прочности по разрушающему усилию с помощью твердомера. Под «упругостью» понимают свойство тел, подвергнутых деформации, возвращаться в начальное состояние после прекращения действия сил, вызвавших эту деформации [7, С. 427]. Иначе, упругость есть способность тела испытывать обратимые деформации [8, С. 34]. Все измерения производили в 20-кратных повторностях.

Результаты и их обсуждение

Оболочки твердых пшениц при влажности от 11,7 до 12,5 % более жестки, нежели оболочки мягких пшениц; с увеличением влажности сопротивляемость оболочек изменению формы снижается, однако для оболочек твердых пшениц в меньшей степени. Проведенные испытания оболочек на изгиб показали, что с увеличением их влажности модуль упругости уменьшается. Поскольку модуль упругости характеризует упругость вещества, то можно сказать, что с увеличением влажности оболочки становятся менее упругими [9, С. 27]. В таблице 1 приведены данные о жесткости и модуле упругости оболочек зерна, захваченного морозом, после сушки и обработки в обоечных машинах с абразивным цилиндром.

Таблица 1 – Жесткость и модуль упругости зерна

Сорт пшеницы	Характер зерна	Жесткость при изгибе, кг·мм ²	Модуль упругости, кг/мм ²
Саратовская 42	Нормальное	0,145±0,005	21,8±0,1
	Захваченное морозом	0,118±0,005	18,7±0,1
	После сушки	0,113±0,005	18,5±0,1
	После обработки в наждачной обоечной машине	0,101±0,005	10,2±0,1

Оболочки зерна, поврежденного (захваченного) в той или иной степени морозом, после сушки или обработки в обоечных машинах с абразивным цилиндром, а также зерна с минусовой температурой по сравнению с оболочками нормального зерна отличаются пониженной сопротивляемостью изгибу и меньшей упругостью [10, С. 28]. Как известно, зерно, захваченное морозом, отличается от нормального обычно тем, что поверхность его сетчатая, а само зерно более или менее деформировано. Оболочки такого зерна легко подвергаются деформированию.

При понижении температуры зерна, особенно при ранних заморозках, когда температура падает до -1 °С и ниже, вода, находящаяся между макромолекулами, расширяется и увеличивает расстояние между ними, ослабляя межмолекулярные силы сцепления. Кроме того, свободная влага, находящаяся в оболочках зерна, превращаясь в лед, увеличивает объем макропор, а это приводит к осложнению напряженного состояния всего зерна. Таким образом, оболочки испытывают нагрузку не только от сил давления увеличивающегося объема эндосперма, но и сил, возникших вследствие замерзания воды в порах или капиллярах зерна. Оба указанных случая могут привести к образованию в оболочках микротрещин и, следовательно, не только к пониженной прочности, но также и к пониженной упругости и жесткости.

Изучали корреляцию структурно-механических свойств зерна различной консистенции с влажностью, температурой и скоростью нагружения. При повышении влажности зерна сорта Харьковская 3 от 12,0 до 16,0 % разрушающее усилие падает на 18,5 %, для пшеницы Юго-Восточная 3 - на 22,7 %, для пшеницы Саратовская 42 - на 27,7 %. Работа по разрушению достигает минимума при влажности зерна пшеницы Харьковская 3 от 15,0 до 16,0 %, для сорта Саратовская 42 от 13,0 до 14,2 %. С увеличением скорости нагружения уменьшается работа по разрушению зерна, так как резко падает доля пластических деформаций.

Представляют практический интерес прочностные свойства основных частей зерновки - оболочек и эндосперма. Сухие оболочки (влажность зерна от 11,7 до 12,5 %) твердой пшеницы (Харьковская 3) отличаются большей жесткостью по сравнению с оболочками мягкой (твердозерной Юго-Восточная 3 и мягкозерной Саратовская 42). Аналогичные соотношения выявлены для показателя упругости оболочек. С повышением влажности жесткость и модуль упругости оболочек снижаются.

При исследовании прочности чистого эндосперма установлено, что для твердых, а также твердозерных сортов мягкой пшеницы усилие на сжатие в 2 - 4 раза больше, чем для мягкозерных (соответственно 23,2; 15,1 и 12,5 кг/мм²). В связи с анизотропным микроскопическим строением и гетерогенным химическим составом эндосперма зерновки необходимо исследование прочностных свойств отдельных его участков.

В процессе исследования определялась жесткость оболочек и подсчитывались разрушающие усилия при изгибе. В рабочей зоне вальцевых станков оболочки деформируются в условиях сложной деформации; при этом определяется потребная мощность или расходуемая энергия на их измельчение. В последнем случае при увеличении влажности оболочек, вследствие увеличения их пластичности, увеличивается и их сопротивляемость измельчению и, соответственно, удельный расход энергии.

Заключение

Модуль упругости с увеличением влажности оболочек снижается. Следовательно, при одинаковых прочих условиях сухие оболочки более упруги, чем влажные. Оболочки зерна, захваченного морозом и подвергнутого сушке после обработки в обоечных машинах с абразивным цилиндром, а также зерна с температурой ниже 0 °С отличаются меньшей упругостью и сопротивляемостью изгибу по сравнению с оболочками нормального зерна. Для твердых и твердозерных сортов пшеницы усилие на сжатие в 2 - 4 раза больше, чем для мягкозерных. Выявлена связь прочностных качеств зерна по индексу шелушения, микротвердости, индексу прочности с данными помолов зерна разной степени твердости.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Зенкина И. В. Анализ стратегических разрывов как инструмент стратегического анализа и потенциал его применения в стратегическом управлении организацией / И. В. Зенкина // Аудит и финансовый анализ. – 2012. – № 4. – С. 107-112.
2. Федотов В. А. Информационно-измерительная система определения потребительских свойств пшеницы / В. А. Федотов, П. В. Медведев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 140-145.
3. Саидов, Д. Т. Резервы повышения рентабельности реализации зерна / Д. Т. Саидов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. - №2 (26). – С.152-155.
4. Doggett H. Sorghum. 2nd edition / H. Doggett // New York, USA: John Wiley and Sons. Inc., NY, 1988. – P. 512.
5. Жидков, С. А. Приоритетные направления развития рынка зерна в России: монография / С. А. Жидков. – Мичуринск: ООО БИС, 2018. – 313 с.
6. Медведев, П. В. Комплексная оценка потребительских свойств зерна и продуктов его переработки / П. В. Медведев, В. А. Федотов, И. А. Бочкарева // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - № 7-1 (38). - С. 77-80.
7. Hochholdinger F. Towards the molecular basis of heterosis / F. Hochholdinger, N. Hoekenger // Trends Plant Sci., 2007. – 12. – P. 427-432.
8. Manley M. Near Infrared Hyperspectral Imaging for the Evaluation of Endosperm Texture in Whole Yellow Maize (*Zea mays* L.) Kernels / M. Manley, P. Williams, D. Nilsson et al. // Agric. Food Chem, 57 (2009).
9. Беркутова, Н. С. Микроструктура пшеницы / Н. С. Беркутова, И. А. Швецова. - М.: Колос, 1977. - 122 с.
10. Шепелев, А. Ф. Товароведение и экспертиза электротоваров: учебное пособие для вузов / А. Ф. Шепелев, И. А. Печенежская. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. - 192 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zenkina I. V. Analiz strategicheskikh razryvov kak instrument strategicheskogo analiza i potencial ego primeneniia v strategicheskome upravlenii organizatsiei` [Analysis of strategic gaps as a tool of strategic analysis and the potential of its application in the strategic management of the organization] / I. V. Zenkina // Audit i finansovy`i` analiz. – 2012. – № 4. – P. 107-112. [in Russian]
2. Fedotov V. A. Informatcionno-izmeritel`naia sistema opredeleniia potrebitel`skikh svoi`stv pshenitcy` [Information and measurement system for determining the consumer properties of wheat] / V. A. Fedotov, P. V. Medvedev // Vestneyk Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]. – 2013. – № 3. – P. 140-145. [in Russian]
3. Saidov, D. T. Rezervy` pov`sheniia rentabel`nosti realizatsii zerna [Reserves for increasing the profitability of grain sales] / D. T. Saidov // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Orenburg State Agrarian University] – 2010. - №2 (26). – P.152-155. [in Russian]
4. Doggett H. Sorghum. 2nd edition / H. Doggett // New York, USA: John Wiley and Sons. Inc., NY, 1988. – P. 512.
5. Zhidkov, S. A. Prioritetny`e napravleniia razvitiia ry`nka zerna v Rossii: monografiia [Priority directions of grain market development in Russia: monograph] / S. A. Zhidkov. – Michurinsk: ООО БИС, 2018. – 313 p. [in Russian]
6. Medvedev, P. V. Kompleksnaia ocenka potrebitel`skikh svoi`stv zerna i produktov ego pererabotki [Comprehensive assessment of consumer properties of grain and its processed products] / P. V. Medvedev, V. A. Fedotov, I. A. Bochkareva // Mezhdunarodny`i` nauchno-issledovatel`skii` zhurnal [International Research Journal]. - 2015. - № 7-1 (38). - P. 77-80. [in Russian]
7. Hochholdinger F. Towards the molecular basis of heterosis / F. Hochholdinger, N. Hoekenger // Trends Plant Sci., 2007. – 12. – P. 427-432.
8. Manley M. Near Infrared Hyperspectral Imaging for the Evaluation of Endosperm Texture in Whole Yellow Maize (*Zea mays* L.) Kernels / M. Manley, P. Williams, D. Nilsson et al. // Agric. Food Chem, 57 (2009).
9. Berkutova, N. S. Mikrostruktura pshenitcy` [Microstructure of wheat] / N. S. Berkutova, I. A. Shvetcova. - М.: Колос, 1977. - 122 p. [in Russian]
10. Shepelev, A. F. Tovarovedenie i e`kspertiza e`lektrotovarov: uchebnoe posobie dlia vuzov [Commodity science and expertise of electrical goods: a textbook for universities] / A. F. Shepelev, I. A. Pechenezhskaia. - Rostov-na-Donu: Feniks, 2002. - 192 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.015>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НА СНИМКЕ УГЛА РАССОГЛАСОВАНИЯ ДВУХ КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ОПОРНЫХ ЗВЕЗД

Научная статья

Федянин М.Р.¹, Лазарев В.М.², *

^{1,2} Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

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

Аннотация

Рассмотрена методика определения угла рассогласования θ между прямоугольной и экваториальной системами координат на фотоснимке с использованием нескольких способов вычисления экваториальных координат небесных объектов по опорным звездам. Обработано 13 ПЗС-снимков, обнаружена и исследована зависимость угла θ от $\cos q$ (q – параллактический угол на небесной сфере) до и после исправления углов θ за влияние дифференциальной рефракции. Произведена оценка величины разброса точек вокруг аппроксимирующей кривой (параболы) по нормальям к параболе, при этом координаты основания нормали вычислялись из решения неполного кубического уравнения, к которому приводит решение задачи по оценке точности. По результатам данной работы сделаны замечания и выводы.

Ключевые слова: системы координат, параллактический угол, дифференциальная рефракция, кубическое уравнение.

DETERMINATION OF THE ANGLE OF MISMATCH OF TWO COORDINATE SYSTEMS IN AN IMAGE BASED ON THE IMAGES OF REFERENCE STARS

Research article

Fedyanin M.R.¹, Lazarev V.M.², *

^{1,2} Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

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

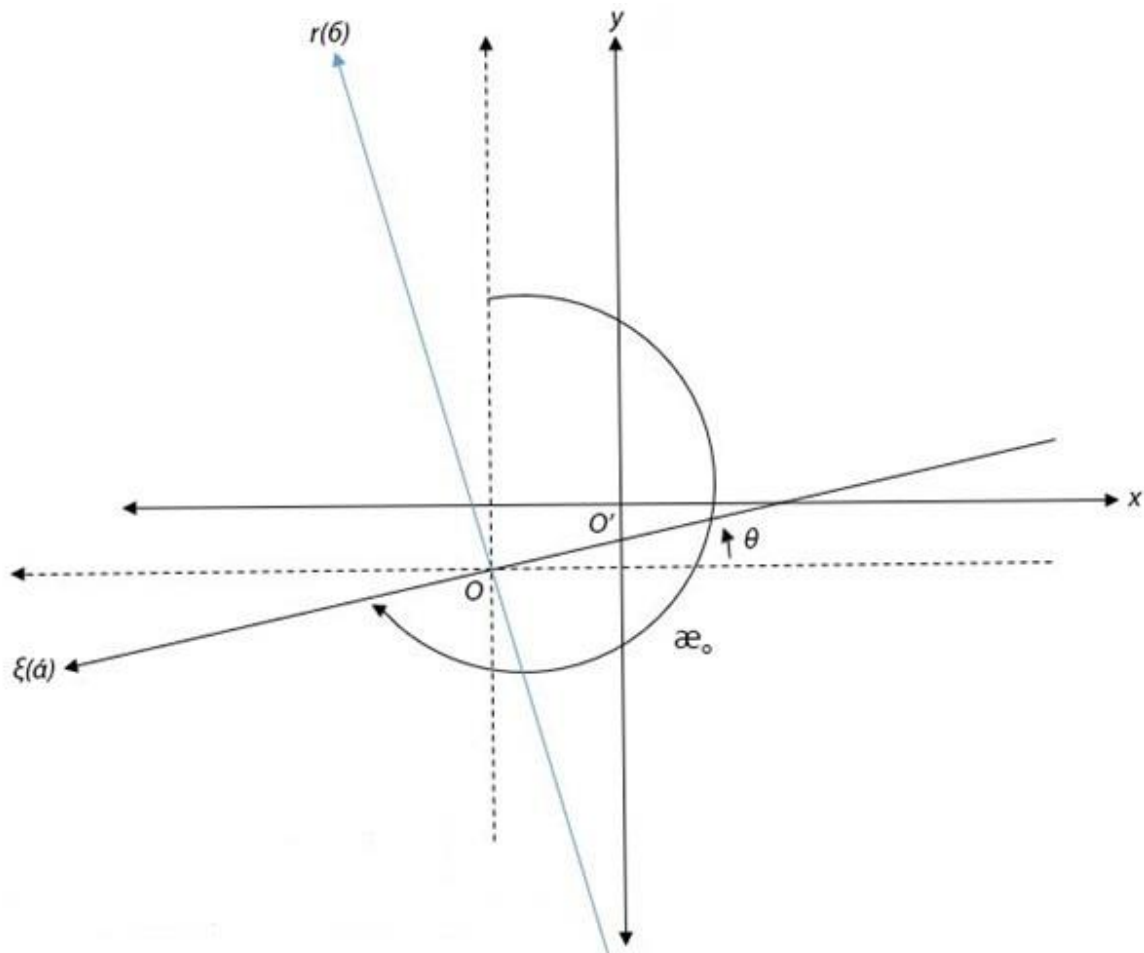
Abstract

This article is a continuation of the research [1]. The current article examines the technique of determining the angle of mismatch θ between the rectangular and equatorial coordinate systems in a photograph using several methods of calculating the equatorial coordinates of celestial objects by reference stars. In the course of the research, 13 CCD images were processed in total, the dependence of the angle was detected and investigated θ from $\cos q$ (q is the parallactic angle on the celestial sphere) before and after correcting the angles θ due to the influence of differential refraction. The authors estimate the magnitude of the scatter of points around the approximating curve (parabola) along the normals to the parabola, while the coordinates of the base of the normal were calculated from the solution of an incomplete cubic equation, which leads to the solution of the accuracy estimation problem. The authors provide comments and conclusions based on the results of this study.

Keywords: coordinate systems, parallactic angle, differential refraction, cubic equation.

В работе [1] основное внимание было сосредоточено на описании алгоритма вычисления экваториальных координат α , β определяемого объекта, изображенного на снимке вместе со звездами фона. Если такие звезды фона отождествлены и известны их координаты α и β , то их изображения на снимке можно принять за опорные (реперные) точки. На снимке выбирается прямоугольная система координат x , y , в которой измеряют координаты опорных звезд и определяемого объекта. При этом оптический центр на снимке (с экваториальными координатами α_0 , β_0 направления оптической оси камеры на небесной сфере) и начало прямоугольной системы координат в общем случае не совпадают. На практике стремятся совместить начала этих двух координатных систем, а направления их осей сделать, по-возможности, параллельными (см. рисунок 1).

На рисунке 1: O - положение оптического центра (начало идеальной системы координат ζ , r на снимке); O' - начало системы координат x , y ; θ - угла рассогласования двух координатных систем; φ - фотограмметрический угол разворота двух координатных систем. Далее, в продолжение работы [1], рассмотрим процедуру определения угла θ на примере снимка 00.

Рис. 1 – Образование углов θ и α_0 между двумя системами координат на снимке**Снимок 00**

Фотоснимок области неба в окрестности звезды HIP 31978 В (созвездие Единорога) был получен на астропластинке формата $9 \times 12 \text{ см}^2$ 11/12.12.1993 на рефракторе АВР-3 Томского государственного университета для учебных целей. В начале 10-х годов XXI в. позитивный снимок с помощью компьютерной программы был увеличен, масштабирован и проведено измерение прямоугольных координат изображений звезд. Предварительные оценки показали, что угол θ на снимке весьма значителен.

Угол можно определить следующим образом. Зададим на оси «х» системы координат x и y (см. рисунок 1) две точки на умеренных и равных расстояниях от начала координат. Затем, используя, скажем, метод Ю.М. Трунина [2], определим экваториальные координаты α , δ этих точек. Метод Ю.М. Трунина обработки астроснимков, основанный на векторной интерпретации основных соотношений проективной геометрии, обладает тем основным преимуществом по сравнению с другими методами (Тернера, Шлезингера [3, С. 227-232]), что не требуется знания элементов внутреннего ориентирования снимка (экваториальных координат оптического центра α_0 , β_0 и фокусного расстояния камеры). Сам алгоритм вычисления экваториальных координат небесных объектов по методу Трунина довольно прост и дает возможность быстро провести вычисления. На снимке выбираются четыре опорные звезды, достаточно далеко удаленные друг от друга и взятые так, чтобы никакие три звезды не лежали на одной прямой. Должны быть известны экваториальные и прямоугольные координаты опорных звезд, а также измерены прямоугольные координаты определяемого объекта (точки снимка). В системе экваториальных координат образуем прямоугольный треугольник, гипотенуза которого равна расстоянию между выбранными точками, выраженному в угловой мере. Этот прямоугольный треугольник можно принять за плоский, т.к. все его стороны на этапе подготовительных работ подбирались достаточно малыми. Решив треугольник находим интересующий нас угол θ .

Решение нескольких треугольников с использованием метода Трунина (взято несколько комбинаций четверок опорных звезд) дало следующее усредненное значение θ :

$$\theta_1 = 2,395^\circ \quad (1)$$

Для независимого определения угла θ и для контроля результата был применен ещё комбинированный метод определения экваториальных координат небесных объектов (обозначим «КОМ -метод») [1]. В этом случае решение задачи можно разбить на три этапа. Выбирают 5,6 опорных звезд с известными экваториальными координатами и измеряют на снимке их координаты x , y , а также координаты определяемых объектов. Необходимо задать, хотя бы приблизительно, координаты α_0 , β_0 оптического центра (здесь за α_0 , β_0 приняты координаты точки «б»). Они определены методом Трунина. На первом этапе, согласно исходному уравнению, методом наименьших квадратов (МНК) [4, С. 209-285] вычисляются три линейных элемента: x_0 , y_0 -прямоугольные координаты оптического центра и фокусное расстояние камеры \mathcal{F} . На первом этапе использовалась левая система прямоугольных координат. На втором этапе,

используя найденные линейные элементы, МНК определяются направляющие косинусы a_i, b_i, c_i , где $i=1,2,3$. Здесь использовалась правая система координат x, y . На третьем этапе вычисляются экваториальные координаты определяемого объекта (или любой точки на снимке с заданными координатами x, y). Система прямоугольных координат-правая. Используя найденные значения a_i, b_i, c_i можно найти угловые элементы ориентирования снимка: α'_0, β_0 и α_0 - угол разворота в плоскости снимка между координатными системами $x'o'y$ и $\xi(\alpha')_0 \delta(\beta)$. По углу α_0 вычисляется интересующий нас угол θ .

В КОМ- методе, в отличие от метода Трунина, на каждом этапе вычислений может быть произведена оценка точности определяемых параметров. Были получены следующие результаты:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 6^h 40^m 53.11^s \pm 0.06^s; \\ \delta_0 &= 9^\circ 45' 24 \pm 2.44; \\ \alpha_0 &= 267.669^\circ \pm 0.201^\circ; \\ \theta^2 &= 2.331^\circ \pm 0.201^\circ \end{aligned} \quad (2)$$

Сравнение (1) и (2) показывает, что значения угла θ , вычисленные двумя независимыми методами, различаются примерно на $4'$. Совместить две рассматриваемые здесь системы координат в угловом отношении можно, повернув оси системы $x'o'y$, в данном случае, против хода часовой стрелки на угол $\theta = +2.363^\circ$. Другой способ исключить влияние угла θ - все измеренные на снимке координаты x, y опорных звезд и определяемых объектов (точек) пересчитать по формулам преобразования декартовых прямоугольных координат при повороте осей [5, С. 58-59].

Снимок 102

Снимок получен в Коуровской астрономической обсерватории УрФУ на спутниковой камере SBG 28.08.2012. Экваториальные координаты центра снимка: $\alpha = 17^h 09^m 35^s$; $\beta = +39^\circ 38' 30''$. Приемник излучения- ПЗС –матрица (прибор с зарядовой связью) размером 2184×1472 пикселей (px); размер пикселя ≈ 0.007 мм. [6, С. 135-137] В этом случае начало прямоугольной системы координат было взято в центре матрицы, а координатные оси-параллельны сторонам матрицы.

ПЗС-матрица закрепляется в корпусе камеры так, чтобы соответственные оси двух координатных систем были параллельны друг другу (рис. 1). Как будет видно в дальнейшем, при съемке в разных азимутах и на различных зенитных расстояниях, вследствие воздействия различных факторов параллельность осей нарушается, т.е. изменяется угол θ . К таким факторам можно отнести: переменные механические и температурные деформации корпуса и оптической системы камеры, дифференциальную атмосферную рефракцию, несферичность земной атмосферы, не точную установку полярной оси камеры по азимуту и высоте и др. Угол θ и его среднеквадратическая ошибка были вычислены с использованием метода Тернера [7, С. 131-137] (по 6-ти опорным звездам): $\theta = +0.933 \pm 0.003'$. Близкое значение θ для снимка 102 получено и КОМ –методом.

Результаты обработки–ПЗС снимков

В нашем распоряжении оказалось 13 ПЗС-снимков, полученных на камере SGB Коуровской астрономической обсерватории в августе 2012 и 2013 гг. Снимки охватывали южную часть неба: по склонению –от $+57^\circ$ до -12.5° ; по часовому углу –от $20^h 40^m$ (восточная область неба) до $5^h 20^m$ (западная область).

Вычисление углов θ осуществлялось разными методами, упомянутыми выше, но в основном, методом Трунина дважды –по двум четверкам опорных звезд. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты обработки ПЗС-снимков

№ п/п	Z, градус	A, градус	θ , угл, мин	Cos q	θ исп угл, мин
1	2	3	4	5	6
1	13,18	279,97	-4,17	0,1827	-3,83
2	19,58	103,39	-1,66	0,2935	-2,16
3	28,68	111,61	-4,28	0,4093	-5,00
4	40,74	90,42	-2,93	0,7075	-3,89
5	42,07	59,82	-0,14	0,8520	-0,65
6	48,44	101,53	+0,93	0,7217	-0,17
7	48,88	334,47	+1,89	0,9712	+2,15
8	52,07	107,95	+9,18	0,7337	+7,67
9	55,19	10,55	+5,04	0,995	+4,86
10	56,97	353,45	+1,85	0,9981	+1,96
11	67,55	73,23	+2,77	0,8486	+0,09
12	69,17	304,65	-0,87	0,8943	+2,20
13	69,60	5,57	-1,70	0,9985	-2,06

На небесной сфере можно назвать довольно много выделенных точек, например такие: точка зенита места наблюдения, северный и южный полюсы мира и эклиптики, Абсолютный апекс движения Солнечной системы (относительно микроволнового фона Вселенной) и некоторые другие [8, С. 33-73], [9, С. 2-33], [10, С. 11-26]. В

настоящей работе проведено сопоставление углов θ и косинусов углов «q». Параллактический угол q – угол на небесной сфере при оптическом центре между направлениями на полюс мира и зенит.

Результаты такого сопоставления представлены на рис. 2. Углы θ взяты из колонки 3 таблицы 1 (не исправленные θ). Точки на рис. 2, соответствующие значениям θ в функции $\cos q$, располагаются довольно упорядоченно. Аппроксимируем их уравнением параболы с использованием МНК в предположении, что ось параболы параллельна одной из осей координат. Придем к следующим выражениям:

$$\theta_{1,2} = -b \pm d\sqrt{c} - \cos q, \text{ где } \cos q \leq c; \text{ или } \cos q = a(\theta + b)^2 + c;$$

$$a = -9.092342 \cdot 10^{-3}; b = -3.9729428; c = 9.7264317 \cdot 10^{-1}; d = 10.487261 \quad (3)$$

Среднеквадратическое отклонение точек от параболы (см. рисунок 2), вычисленное по формуле Бесселя, составляет $\mu_1 = 0.1795$. Оно соответствует отклонению по оси абсцисс. Дифференциальная рефракция – один из главных искажающих факторов, влияющих на величину угла θ . На снимке искажается сетка экваториальных координат, а сетка прямоугольных координат остается неизменной. Исправленные за дифференциальную рефракцию (в нулевом приближении) углы θ приведены в колонке 5 таблицы ($\theta_{\text{исп.}}$). Используя теперь колонки 4 и 5, после применения МНК, приходим к выражениям:

$$\theta_{\text{исп}} = -l \pm n\sqrt{m} - \cos q, \text{ где } \cos q \leq m,$$

или:

$$\begin{aligned} \cos q &= k(\theta_{\text{исп}} + l)^2 + m; \\ K &= -8.896147 \cdot 10^{-3}; \\ l &= -3.4017947; \\ m &= 9.4586938 \cdot 10^{-1}, n = 10.602273 \end{aligned} \quad (4)$$

Если по данным таблицы 1 и (4) построить новый рисунок, то он будет очень похож на рис. 2. При использовании $\theta_{\text{исп}}$ среднеквадратическое отклонение точек от параболы составляет $\mu_2 = 0.1884$ (по формуле Бесселя).

Насколько сильно изменится среднеквадратическое отклонение точек от кривой (параболы), если это отклонение измерять по нормали к кривой. Достаточно быстро решить эту задачу можно следующим образом.

Запишем выражение для квадрата расстояния от точки с координатами (x_0, y_0) до какой-либо точки параболы с координатами (x, y) ; здесь для краткости введены обозначения $-x = \theta$. $Y = \cos q$:

$$F = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2, \text{ далее } F'_{x_0} = 0$$

Координата «x» точки на кривой, соответствующей основанию нормали, найдется из выражения

$$\{(x - x_0)^2 + [a(x + b)^2 + c - y_0]^2\}'_x = 0, \quad (5)$$

где вместо «y» использована функция (3).

После преобразования (5) приходим к неполному кубическому уравнению:

$$Z^3 + r \cdot Z + s = 0, \quad z = x + b \quad (6)$$

$$\text{В (6)}: r = \frac{1}{a}(c - y_0) + \frac{1}{2a^2}; s = -\frac{1}{2a^2}(b + x_0).$$

Решение неполного кубического уравнения (6) дает один действительный корень, который нас и интересует: $z_1 = x_1 + b$. Вычислив x_1 , по (3) найдем y_1 , а затем – наикратчайшее расстояние от точки (x_0, y_0) до точки на кривой, с найденными координатами (x_1, y_1) . Таким образом можно вычислить среднеквадратическое отклонение точки от параболы по нормали к ней (как и ранее использовалась формула для углов θ , не исправленных и исправленных за дифференциальную рефракцию). Получены следующие результаты (в скобках повторены приведенные ранее значения μ):

$$\begin{aligned} \text{не исправленные } \theta - m_1 &= 0.17857 (\mu_1 = 0.1795) \\ \text{исправленные } \theta - m_2 &= 0.18725 (\mu_2 = 0.1884) \end{aligned} \quad (7)$$

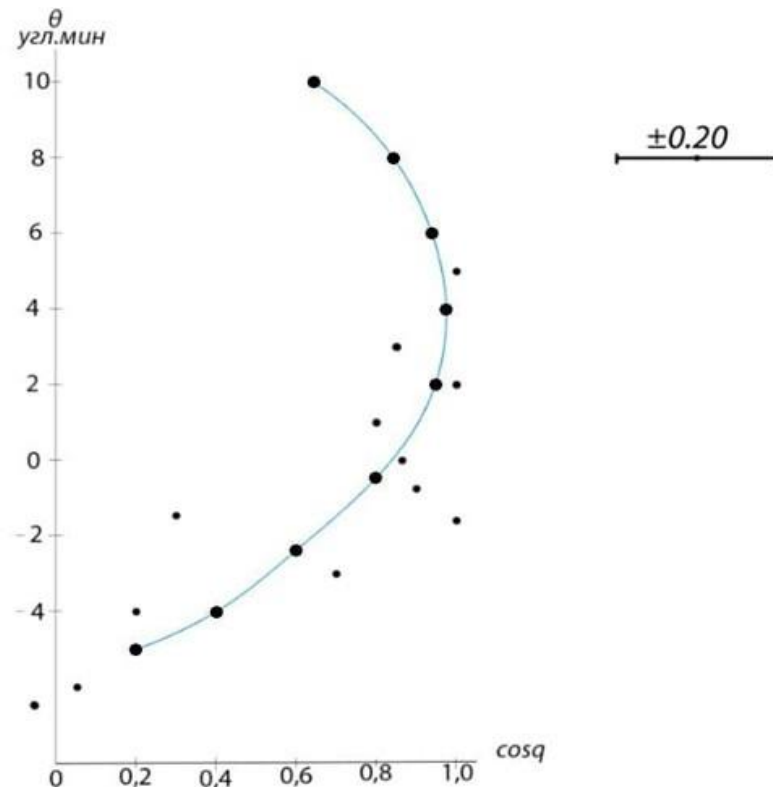


Рис. 2 – Вычисленные значения углов зависимости от $\cos q$ (q – параллактический угол) и аппроксимация их параболой

Согласно (7) произошло незначительное уменьшение средне квадратического отклонения точек при измерении по нормальям (m) по сравнению с измерениями отклонений параллельно оси абсцисс рисунка 2 (μ). В то же время видно, что исправление θ за дифференциальную рефракцию не привело к улучшению «кучности» точек вокруг аппроксимирующей их параболы.

Следует обратить внимание на следующий факт. Отыскание численного значения $x_1 = \theta$ графически, по рис. 2, путем проведения нормали к параболе из точки (x_0, y_0) «на глаз», не приводит к правильному результату, т.к. единицы измерений и масштабы по осям координат различны. Анализируя формулу (3) приходим к выводу, что вблизи меридиана ($\cos q \approx 1$) изначально устанавливаемый угол рассогласования θ в $0^{\circ}00'$ оказался равным $\approx +4'$. При этом, исправление углов θ за дифференциальную рефракцию уменьшило это значение до $\approx +3.4'$.

В заключение необходимо отметить, что все полученные здесь результаты базируются на небольшом по объему наблюдательном материале, фотосъемкой охвачен ограниченный участок небесной сферы, точки (см.рис.2) расположены в узком диапазоне $\cos q$. В случае большого охвата наблюдениями диапазона $\cos q$, вероятно, имеет смысл вместо уравнения параболы (при аппроксимации точек МНК) использовать уравнение эллипса.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Федянин М.Р. Совместное определение элементов ориентирования аэроснимка и экваториальных координат небесных объектов по опорным звездам / М.Р. Федянин, В.М. Лазарев // Science, Technology And Life - 2016 Proceedings of materials the III international scientific conference. 2016, с. 79-86.
2. Урмаев М.С. Космическая фотограмметрия: Учебник для вузов / М.С. Урмаев. - М.: Недра, 1989.-279 с.
3. Курс астрофизики и звездной астрономии, т.1 Под. ред. акад. А.А. Михайлова. – М.:Наука, 1973.-608 с.
4. ШигOLEV Б.М. Математическая обработка наблюдений / Б.М. ШигOLEV. - М.: Наука. 1969. - 344 с.
5. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1973.-832 с.
6. Китчин К. Иллюстрированный словарь практической астрономии / К. Китчин. - М. АСТ. Астрель, 2006. - 304 с.
7. Подобед В.В. Общая астрометрия. / В.В. Подобед, В.В. Нестеров. – М.: Гл. ред. физ. мат. литературы, 1982. - 576 с.
8. Пандул И.С. Геодезическая астрономия применительно к решению инженерно-геодезических задач / И.С. Пандул. - СПб.: Политехника. 2010.-324с.
9. Федянин М.Р. Анизотропия реликтового излучения и наземная астрометрия / М.Р. Федянин, Н.А. Василенко. - Томск, 1990. - 33 с. Деп. В ВИНТИ №1002-В90.
10. Федянин М.Р. О постоянстве абберационной постоянной / М.Р. Федянин. - 1992. – 30 с. Деп. В ВИНТИ № 533-В92.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fedyanin M.R. Sovmestnoe opredelenie jelementov orientirovanija ajerosnimka i jekvatorial'nyh koordinat nebesnyh ob'ektov po opornym zvezdam [Joint determination of the elements of orientation of an aerial image and the equatorial

coordinates of celestial objects by reference stars] / M.R. Fedyanin, V.M. Lazarev // Science, Technology And Life - 2016 Proceedings of materials the III international scientific conference. 2016, pp. 79-86. [in Russian]

2. Urmaev M.S. Kosmicheskaja fotogrammetrija [Space photogrammetry] : Textbook for universities / M.S. Urmaev. - M. : Nedra, 1989.-279 p. [in Russian]

3. Kurs astrofiziki i zvezdnoj astronomii [Course of Astrophysics and Stellar astronomy], vol. I, ed. akad. A.A. Mikhailova. - M.: Nauka, 1973.-608 p. [in Russian]

4. Shigolev B.M. Matematicheskaja obrabotka nabljudenij [Mathematical processing of observations] / B.M. Shigolev. - M.: Nauka. 1969. - 344 p. [in Russian]

5. Korn G. Spravochnik po matematike (dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov) [Handbook of Mathematics (for scientists and engineers)] / G. Korn, T. Korn. - M.: Nauka, 1973.-832 p. [in Russian]

6. Kitchin K. Illjustrirovannyj slovar' prakticheskoj astronomii [Illustrated dictionary of practical astronomy] / K. Kitchin. - M. AST. Astrel, 2006. - 304 p. [in Russian]

7. Podobed V.V. Obshhaja astrometrija [General astrometry] / V.V. Podobed, V.V. Nesterov. - M.: Gl. ed. phys. mat. literature, 1982. - 576 p [in Russian]

8. Pandul I.S. Geodezicheskaja astronomija primenitel'no k resheniju inzhenerno-geodezicheskikh zadach [Geodesic astronomy in relation to the solution of engineering and geodetic problems] / I.S. Pandul. - St. Petersburg: Polytechnic. 2010.-324 p. [in Russian]

9. Fedyanin M.R. Anizotropija reliktovoogo izluchenija i nazemnaja astrometrija [Anisotropy of relic radiation and ground-based astrometry] / M.R. Fedyanin, N.A. Vasilenko. - Tomsk, 1990. - 33 p. Dep. In VINITI No. 1002-B90. [in Russian]

10. Fedyanin M.R. O postojanstve abberacionnoj postojannoju [On the constancy of the aberration constant] / M.R. Fedyanin. - 1992. - 30 p. Dep. IN VINITI No. 533-B92. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.016>

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕКТИНА ИЗ ЯКУТСКОЙ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ

Научная статья

Хомус С.С.С.У.¹, Степанов К.М.² *

ORCID: 0000-0002-5238-8102;

^{1,2} Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия

* Корреспондирующий автор (Stenko07[at]mail.ru)

Аннотация

В данном исследовании проведено извлечение и очистка пектина из якутской черной смородины методом экстракции. Полученные из якутской смородины пектин продемонстрировал продукт с привлекательными физико-химическими свойствами и разжижающие сдвиг жидкости с эластичным гелевым составом. Следовательно, якутская смородина может использоваться в качестве сельскохозяйственной культуры для производства пектинов в промышленности, заменяя другие источники для производства пектина. Ягоды черной смородины содержат широкий спектр диетических компонентов, богатых биоактивными фитохимическими веществами, и имеет важное значение для человеческого организма. Пектин является одним из некрахмальных полисахаридов, который составляет основную часть стенки растительной клетки в ассоциации или замещении другими полисахаридами, и они охватывают большое разнообразие биологических функций и химических структур.

Ключевые слова: пектин, якутская черная смородина, спирт, этанол, студень, гелеобразование, желе.

OBTAINING PECTIN FROM YAKUT BLACKCURRANT

Research article

Khomus S.S.S.U.¹, Stepanov K.M.² *

ORCID: 0000-0002-5238-8102;

^{1,2} Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

* Corresponding author (Stenko07[at]mail.ru)

Abstract

The current research carries out extraction and purification of pectin from Yakut blackcurrant via the extraction method. The pectin obtained from Yakut currant promises a product with attractive physicochemical properties and shear-thinning liquids with an elastic gel composition. Consequently, Yakut currant can be used as an agricultural crop for the industrial production of pectins, replacing other sources for the production of pectin. blackcurrant berries contain a wide range of dietary components rich in bioactive phytochemicals and are important for the human body. Pectin is one of the non-starch polysaccharides that makes up the bulk of the plant cell wall in association or substitution with other polysaccharides, they cover a wide variety of biological functions and chemical structures.

Keywords: pectin, Yakut blackcurrant, alcohol, ethanol, jelly, gelation, jelly.

Введение

Черная смородина - высокозимостойкая культура, широко распространена в Якутии, имеет ценность как лекарственное и пищевое растение. Выделена среди других культур по высокой ценности ягод, почек, листьев, побегов. По содержанию витамина С она уступает только шиповнику и актинидии, но превосходит землянику, малину, яблоки, грушу, виноград - в несколько раз [3], [4].

Известно, что плоды и ягоды являются ценнейшим продуктом питания, особенно на Крайнем Севере, они обладают диетическими и лечебно-профилактическими свойствами, содержат комплекс жизненно необходимых биологически активных веществ, таких как витамины С, В₁ (тиамин), В₂, В₆ (пиридоксин), В₉ (фолиевая кислота), А (каротин), Р (цитрин), РР (никотиновая кислота), Е, флавоноиды, микроэлементы, а также органические кислоты, комплекс сахаров, включающих сахарозу, фруктозу и глюкозу, большое количество пектиновых веществ, уменьшающих воздействие радиоактивного излучения [4]. Плоды содержат сахаров 4-13 %, кислоты - 0,33-4,5, пектиновые вещества - 0,43-3,4 %, витамин С - 32-568 мг%, дубильные и органические вещества - 410-2700 мг%, витамины В₂, В₆, Д, Е, К, микроэлементы, эфирное масло. Их употребляют в свежем виде, готовят желе, варенье, карамельные начинки, сиропы, пастеризованные соки. Ягоды и листья применяют как поливитаминное средство [8].

Черная смородина также содержит широкий спектр диетических компонентов, богатых биоактивными фитохимическими веществами, и имеет важное значение для человеческого организма, что может обеспечить желаемую пользу для здоровья помимо основного питания [1].

Ягоды смородины черной богаты пектином. Пектиновые вещества относятся к одной из групп лучезащитных соединений, регулирующих водный режим, газообмен и устойчивость ягод при хранении. Пектин способен сохранять в желе природный цвет и аромат ягод. В зрелых плодах смородины черной преобладает протопектин [5]

Пектин является одним из некрахмальных полисахаридов, который составляет основную часть стенки растительной клетки в ассоциации или замещении другими полисахаридами, и они охватывают большое разнообразие биологических функций и химических структур. Пектин широко используется как в пищевой промышленности (как гелеобразователь, загуститель и стабилизатор), так и в фармацевтической промышленности (биоактивные компоненты), включая биомедицинское применение (тканевая инженерия и заживление ран) в качестве инновационных приложений [5], [6].

Они также играют важную роль в развитии растительных клеток, обеспечивая их упругость и устойчивость. Основные области применения пектина - гелеобразователь, стабилизатор, эмульгатор и загуститель [2], [5].

В пищевом секторе это традиционное использование дополняется появляющимся применением пектина в качестве заменителя жира и полезного для здоровья функционального вещества. Пектин также является важным источником

пищевых волокон, которые были идентифицированы как новый пребиотик с улучшенными терапевтическими свойствами для модуляции микробиоты кишечника. Пектин также используется в медицине и фармацевтических целях, в качестве носителя для контролируемых лекарств или биоактивного высвобождения, например, при адресной доставке лекарств в очаг заболевания [2], [6], [7].

Пектиновые вещества относятся к группе пищевых волокон, присутствующих во всех высших растениях, особенно во фруктах и ягодном сырье. Пектиновые вещества снижают уровень холестерина в крови, выводят из организма тяжелые металлы, радионуклиды, снижают токсичность антибиотиков, пролонгируют действие лекарственных препаратов [5], [6].

Методы и принципы исследования: методы расчета, анализ, физико-химические по общепринятой методике. Лабораторное получение пектина проведена биотехнологической лабораторией ГАУ Технопарк Якутия.

Результаты исследования

Концентраты экстрактов антоциановых пигментов обладают высокой красящей способностью и используются в пищевой промышленности в качестве натуральных ингредиентов для придания цвета и аромата продукту [10].

Аналогичный способ получения пектина из ягод черной смородины был проведен Чесноковой Н.Ю., Приходько Ю.В. и др. [10]. Растворы антоцианового пигмента они получали путем гомогенизации размороженного и измельченного ягодного сырья с водой в соотношении 1:5 при температурах 65 и 90 °С в течение 30 мин, затем отфильтровывали. Для выделения растворимого пектина измельченное ягодное сырье гомогенизировали с водой в соотношении 1:3. Для гидролиза протопектина в раствор добавляли 1 см³ лимонной кислоты и экстрагировали при температуре 95 °С в течение 90 мин. По окончании процесса проводили разделение твердой и жидкой фаз центрифугированием при 1000 об/мин в течение 5 мин. Растворимые пектиновые вещества выделяли путем осаждения их из жидкой фазы 5 см³ 96%-м этанолом. Осадок отделяли центрифугированием при 1000 об/мин в течение 15 мин, водный раствор и осадок использовали для определения растворимых пектиновых веществ. Были исследованы физико-химические свойства антоцианового красителя, полученного методом концентрирования. Показано, что концентрированный краситель, содержащий антоциановый пигмент и пектиновые вещества, имеет темно-красный цвет, ярко выраженный запах черной смородины и густую сиропобразную консистенцию [10].

Процесс экстракции пектина нами проведены при кипячении с подкисленным раствором растительного материала при температуре 97 °С в течении 30 мин. Затем горячий кислотный экстракт фильтровали через марлю для удаления мякоти. Затем фильтрат охлаждается до 4 °С и осажается, используя удвоенный объем спирта.

Для получения пектина из якутской черной смородины нами был взят 500гр черной смородины и 500 мл воды. Из-за высокого содержания в нем кислотности не требовалось дополнительного добавления кислотного вещества (так как для получения пектина требуется кислотная обработка как было описано выше). Сначала доводим содержимое до кипения около 30 минут при температуре 90 °С. Затем горячую густую массу пропускаем (фильтруем) через марлю до полной выжимки жидкости.



Рис. 1 – Очищенный пектин

Далее в полученный густой сироп добавляем один к одному чистый этанол, чтобы отделить пектин. При добавлении этилового спирта образуется гелеобразная масса, которую пропускаем через марлевую прослойку отделяя экстракт и оставляя полученный пектин. Таким образом, мы отделяем другие вещества от пектина (рис. 1). В нашем случае очистка проводилась 4 раза до получения состояния волокнистого вещества.



Рис. 2 – Лиофильная сушка

Следующим этапом, полученный пектин просушили в лиофильной сушке (рис 2) около 1 часа [9].



Рис. 3 – Высушенный пектин и полученный студень

Высушенный в сушилке пектин, размолоти до пудрового состояния (рис. 3), в итоге из 500 гр. черной смородины получили 4 гр. пектина.

Из полученного пектина провели исследование на «студнеобразование»:

В предварительно подготовленную горячую воду при температуре 80-90 °С, добавили 2 гр. пектина смешивая до полного растворения. После чего остудили около 1 часа, и получили гелеобразованное вещество «студень» (рис. 3).

Полученный студень имел слегка кисловатый привкус с ароматом черной смородины, что указывает на дополнительную «доочистку» пектина. Структура полученной массы получилась вязким, тягучим и нежным, что доказало его хорошее желирующее свойство.

Заключение

Проведенное исследование показало, что полученный пектин из якутской черной смородины содержит высокое количество пектина. Следовательно, его можно использовать в качестве текстурного ингредиента и эмульгатора в пищевых продуктах, с привлекательными физико-химическими свойствами с эластичным гелевым составом. Данный пектин может применяться в качестве гелеобразователя, загустителя и стабилизатора. В дальнейшем требуются новые методы экстракции, что могут сократить время получения и уменьшить расход растворителя, с целью повышения эффективности процесса для получения пектина.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Аджиахметова С.Л. Изучение суммарного содержания антиоксидантов, полисахаридов, элементного состава и аминокислот растительного сырья смородины черной / С.Л. Аджиахметова, Н.М. Червоная, Д.И. Поздняков и др. // Химия растительного сырья. 2021. № 3. С. 265-274.
2. Борисенко Е.Л. Инновационные технологии переработки растениеводческого сырья для получения пектина / Е.Л. Борисенко, Е.С. Таранова // И Наука: Шаг К Успеху. Сборник Научных Статей Всероссийской Научной Конференции Перспективных Разработок Молодых Ученых: В 3-Х Томах. Ответственный Редактор Горохов А.А., 2017. С. 300-302.
3. Габышева Н.С. Селекция смородины черной в Якутии / Н.С. Габышева, А.В. Протопопова, В.Н. Сорокопудов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vestnik-rsn.ru/vrsn/article/view/57> (дата обращения: 20.12.2021)
4. Донченко Л.В. Сравнительная характеристика виноградного пектина с промышленными видами пектинов / Л.В. Донченко, А.Н. Косс, З.У. Жиренчина // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов. Сборник тезисов по материалам Международной конференции. Отв. за выпуск А.Г. Кошчаев. 2018. С. 72.
5. Зобкова Н.В. Пектины как средства детоксикации. Комплексообразующие свойства пектинов / Н.В. Зобкова, Е.И. Глушихина // Оренбургские горизонты: прошлое, настоящее, будущее. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 275-летию Оренбургской губернии и 85-летию Оренбургской области. 2019. С. 314-317.
6. Икласова А.Ш. Пектин: состав, технология получения, применение в пищевой и фармацевтической промышленности / А.Ш. Икласова, З.Б. Сакипова, Э.Н. Бекболатова // Вестник Казахского Национального Медицинского Университета. 2018. № 3. С. 243-246.
7. Мударисова Р.Х. Комплексообразование яблочного пектина, модифицированного фармакофорами, с катионами марганца (II) в водных растворах / Р.Х. Мударисова, А.Ф. Сагитова, О.С. Куковинец // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 25-32.
8. Титова Л.В. Сравнительная оценка биохимического состава ягод перспективных сортов смородины черной / Л.В. Титова, И.Б. Кирина, Г.С. Усова и др. // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2019. № 2 (28). С. 16-21.
9. Холов Ш.Е. Применение нечеткой логики для автоматического управления процессом сушки пектина / Ш.Е. Холов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. № 1 (49). С. 22-26.
10. Чеснокова Н.Ю. Натуральный концентрированный краситель, содержащий комплекс антоциановых пигментов и пектиновых веществ / Н.Ю. Чеснокова, Ю.В. Приходько, Л.В. Левочкина и др. // Вестник КрасГАУ. 2019. № 12 (153). С. 160-168.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Adjiakhmetova S.L. Izuchenie summarnogo soderzhaniya antioksidantov, polisaharidov, jelementnogo sostava i aminokislit rastitel'nogo syr'ja smorodiny chernoj [Study of the total content of antioxidants, polysaccharides, elemental composition and amino acids of vegetable raw materials of black currant] / S.L. Adjiakhmetova, N.M. Chervonnaya, D.I. Pozdnyakov et al. // Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of vegetable raw materials]. 2021. No. 3. pp. 265-274. [in Russian]
2. Borisenko E.L. Innovacionnye tehnologii pererabotki rastenievodcheskogo syr'ja dlja poluchenija pektina [Innovative technologies of processing of plant-growing raw materials for obtaining pectin] / E.L. Borisenko, E.S. Taranova // I Nauka: Shag K Uspehu. Sbornik Nauchnyh Statej Vserossijskoj Nauchnoj Konferencii Perspektivnyh Razrabotok Molodyh Uchenyh [And Science: A Step To Success. Collection Of Scientific Articles Of The All-Russian Scientific Conference Of Promising Developments Of Young Scientists]: In 3 Volumes. Responsible Editor Gorokhov A.A., 2017. pp. 300-302. [in Russian]
3. Gabysheva N.S. Selekcija smorodiny chernoj v Jakutii [Selection of black currant in Yakutia] / N.S. Gabysheva, A.V. Protopopova, V.N. Sorokopudov // Vestnik rossijskoj sel'skohozjajstvennoj nauki [Bulletin of the Russian agricultural Science]. [Electronic resource]. URL: <https://www.vestnik-rsn.ru/vrsn/article/view/57> (accessed: 12/20/2021) [in Russian]
4. Donchenko L.V. Sravnitel'naja harakteristika vinogradnogo pektina s promyshlennymi vidami pektinov [Comparative characteristics of grape pectin with industrial types of pectins] / L.V. Donchenko, A.N. Koss, Z.U. Zhirenchina // Institucional'nye preobrazovanija APK Rossii v uslovijah global'nyh vyzovov. Sbornik tezisov po materialam Mezhdunarodnoj konferencii [Institutional transformations of the Russian agro-industrial complex in the context of global challenges. Collection of abstracts based on the materials of the International Conference]. Rel. for the release of A.G. Koshchaev. 2018. p. 72. [in Russian]
5. Zobkova N.V. Pektiny kak sredstva detoksikacii. Kompleksoobrazujushhie svojstva pektinov [Pectins as a means of detoxification. Complexing properties of pectins] / N.V. Zobkova, E.I. Glushikhina // Orenburgskie gorizonty: proshloe, nastojashhee, budushhee. Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 275-letiju Orenburgskoj gubernii i 85-letiju Orenburgskoj oblasti [Orenburg horizons: past, present, future. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 275th anniversary of the Orenburg province and the 85th anniversary of the Orenburg region]. 2019. pp. 314-317. [in Russian]
6. Iklasova A.Sh. Pektin: sostav, tehnologija poluchenija, primenenie v pishhevoj i farmacevticheskoy promyshlennosti [Pectin: composition, production technology, application in the food and pharmaceutical industry] / A.Sh. Iklasova, Z.B. Sakipova, E.N. Bekbolatova // Vestnik Kazahskogo Nacional'nogo Medicinskogo Universiteta [Bulletin of the Kazakh National Medical University]. 2018. No. 3. pp. 243-246. [in Russian]
7. Mudarisova R.H. Kompleksoobrazovanie jablochnogo pektina, modifitsirovannogo farmakoforami, s kationami marganca (II) v vodnyh rastvorah [Complexation of apple pectin modified with pharmacophores with manganese (II) cations in aqueous solutions] / R.H. Mudarisova, A.F. Sagitova, O.S. Kukovinec // Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of vegetable raw materials]. 2020. No. 1. pp. 25-32. [in Russian]

8. Titova L.V. Sravnitel'naja ocenka biohimicheskogo sostava jagod perspektivnyh sortov smorodiny chernoj [Comparative assessment of the biochemical composition of berries of promising varieties of black currant] / L.V. Titova, I.B. Kirina, G.S. Usova et al. // Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya [Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex - healthy food products]. 2019. No. 2 (28). pp. 16-21. [in Russian]

9. Kholov Sh.E. Primenenie nechetkoj logiki dlja avtomaticheskogo upravlenija processom sushki pektina [Application of fuzzy logic for automatic control of the pectin drying process] / Sh.E. Kholov // Politehnicheskij vestnik. Serija: Intellect. Innovacii. Investicii [Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence. Innovation. Investment]. 2020. No. 1 (49). P. 22-26. [in Russian]

10. Chesnokova N. Yu. Natural'nyj koncentrirovannyj krasitel', sodержashhij kompleks antocianovyh pigmentov i pektinovyh veshhestv [Natural concentrated dye containing a complex anthocyanin pigments and pectin] / N. Yu. Chesnokov, Yu. V. Prihodko, V. L. Levochkin, et al. // Vestnik KrasGAU [Vestnik Krasgau]. 2019. No. 12 (153). P. 160-168. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.017>**ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСЕРВАНТОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ**

Научная статья

Юнин В.А.^{1,*}, Захаров А.М.², Зыков А.В.³¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;² ORCID: 0000-0002-8111-1727;³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;^{1, 2, 3} Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

Важнейшим направлением в технологии заготовки сена повышенной влажности в рулонах является консервирование его химическими препаратами в процессе прессования. Это позволяет заготавливать сено влажностью 25-30%, сократить время вымывания питательных веществ из растений при неблагоприятных погодных условиях и тем самым уменьшать потери при заготовке и хранении. Внесение жидких химических консервантов при заготовке кормов относится к сложной научной и практической проблеме, так как процесс связан с одновременным взаимодействием нескольких факторов, в том числе растения, химического консерванта, различных технических средств, животного организма и человека. Поэтому необходимо учесть все основные особенности, чтобы получить от взаимодействия вышеуказанных факторов наибольший биологический, производственный и экологический эффект с наименьшими затратами труда и средств. В основе процесса распространения химических консервантов в растительном сырье лежит диффузия, т.е. перенос вещества из одной области в другую в пределах одной фазы при отсутствии перемешивания. Коэффициент кинематической диффузии, характеризующий процесс распространения консервантов в стебельчатой растительной массе, является постоянной величиной, определяющей эффективное распределение парообразной и жидкой фаз консерванта. Численное значение этого коэффициента находится в пределах между значениями коэффициента диффузии пара и жидкости. Так как численные значения коэффициентов диффузии консервантов в литературных источниках отсутствуют, необходимо провести экспериментальные исследования, с целью их определения.

Ключевые слова: консервант, диффузия, корм, хранение, параметр.**PARAMETERS OF THE DISTRIBUTION PROCESS OF PRESERVATIVES IN PLANT RAW MATERIALS**

Research article

Yunin V.A.^{1,*}, Zakharov A.M.², Zykov A.V.³¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;² ORCID: 0000-0002-8111-1727;³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;^{1, 2, 3} Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, branch of the All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization, Saint Petersburg, Russia

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

Abstract

The most important area in the technology of harvesting high-moisture hay in rolls is its preservation via chemical preparations during baling. This makes it possible to harvest hay with a humidity of 25-30%, reduce the time of leaching of nutrients from plants under adverse weather conditions and thereby reduce losses during harvesting and storage. The introduction of liquid chemical preservatives in the preparation of feed is a complex scientific and practical problem, since the process is associated with the simultaneous interaction of several factors, including plants, chemical preservatives, various technical means, as well as animals and humans. Therefore, it is necessary to take into account all the key aspects to get the greatest biological, industrial and environmental effect from the interaction of the aforementioned factors with the least labor and monetary costs. The process of distribution of chemical preservatives in plant raw materials is based on diffusion, the transfer of a substance from one region to another within one phase in the absence of mixing. The kinematic diffusion coefficient, which characterizes the process of spreading preservatives in the stalked plant mass, is a constant value that determines the effective distribution of the vaporous and liquid phases of the preservative. The numerical value of this coefficient is in the range between the values of the vapor and liquid diffusion coefficient. Since there are no numerical values of the diffusion coefficients of preservatives in the related literature, it is necessary to conduct experimental studies in order to determine them.

Keywords: preservative, diffusion, feed, storage, parameter.**Введение**

Внесение жидких химических консервантов при заготовке кормов относится к сложной научной и практической проблеме в связи с тем, что процесс связан с одновременным взаимодействием нескольких факторов, в том числе растения, химического консерванта, различных технических средств, животного организма и человека. Поэтому необходимо учесть все основные особенности, чтобы получить от взаимодействия вышеуказанных факторов наибольший биологический, производственный и экологический эффект с наименьшими затратами труда и средств.

Известно, что образование и накопление кормовой массы растений происходит в результате биохимических процессов, протекающих в клетках растений. Процессы, обеспечивающие накопление кормовой массы необходимо поддерживать, а процессы, разрушающие питательные вещества – по возможности затормаживать или полностью

останавливать. Первые процессы протекают в растущих растениях, а вторые – в скошенной растительной массе, лишенной доступа к ней питательных веществ из почвы [1], [2].

Чтобы получить при заготовке высококачественный растительный корм, сведя к минимуму потери питательных и биологически активных веществ, необходимо сократить до минимума жизнедеятельность клеток скошенных растений.

Основным условием жизнедеятельности растений является обмен веществ, включающий два одновременно протекающих в противоположном направлении процесса – ассимиляции (усвоение) и диссимиляции (распад). Если в процессе ассимиляции растение строит свои клетки за счет веществ внешней среды, то при диссимиляции происходит расщепление углеводов с выделением энергии и образованием конечных продуктов.

Указанные биохимические процессы осуществляются с помощью белковых ферментов. Следовательно, все приемы, направленные на увеличение количества и активности ферментов, участвующих в процессах ассимиляции, будут способствовать синтезу кормовой массы, а все приемы, направленные на снижение количества и активности ферментов, участвующих в диссимиляционных превращениях веществ, будут способствовать распаду веществ и в конечном итоге – прекращению активности.

Процесс взаимодействия консерванта с микробной и растительной клеткой лучше всего протекает в жидкой среде, в связи с чем консерванты должны быть хорошо растворимы в водной среде и соках растений.

В основе процесса распространения химических консервантов в растительном сырье лежит диффузия, т.е. перенос вещества из одной области в другую в пределах одной фазы при отсутствии перемешивания. опыты и теория показывают, что диффузия происходит при наличии градиента давления, градиента температуры, полей внешних сил и градиента концентрации.

Проявленное растительное сырье в поле, в котором происходит процесс диффузии, представляет собой субстрат, состоящий из стеблей и листьев, содержащих связанную влагу и воздух. Жидкий химический консервант, состоящий из собственной жидкости и пара, образующий на ее поверхности под воздействием градиентов концентрации и температуры, диффундирует в такой среде в основном в двух фазах: жидкой и парообразной (газообразной). Парообразная фаза химического консерванта диффундирует во внешнюю структуру растений со скоростью, пропорциональной градиенту концентрации диффундирующего вещества. Естественным препятствием на направлениях диффузии в растительном сырье являются стебли и листья растений, замедляющие ход процесса диффузии паров.

Методы и принципы исследования

При диффузии паров консервантов в растительном слое происходит сорбция влаги и паров растениями по закону, описываемому уравнением Брунауэра, Эммета, Теллера для растительных материалов влажностью до 35% [3], [4].

$$u_p = u_1 \frac{C\phi}{1 - \phi(2 - C) + \phi^2(C - 1)} \quad (1)$$

где: u_p – равновесное влагосодержание материала при соответствующем режиме обработки, кг/кг;

u_1 – равновесное влагосодержание материала перед обработкой, кг/кг;

ϕ – относительная влажность паровоздушной смеси, безразмерная;

C – постоянная, характеризующая вид материала, безразмерная.

Решая уравнение 1 относительно величины u_p при условии максимального увлажнения растительного сырья парами консерванта, находим, что влагосодержание растений увеличивается незначительно, поэтому влиянием сорбции влаги из паров консерванта на процесс консервирования можно пренебречь.

Жидкая фаза консерванта, взаимодействуя с переносчиками белковой природы, диффундирует внутри растений, в которых растворителем является растительный сок, и участвует непосредственно в процессе подкисления корма.

Процессы диффузии пара и жидкости в растительном сырье классифицируются как однонаправленная диффузия и описываются общим уравнением:

$$N_a = -D \left(\frac{C_A + C_B}{C_B} \right) \cdot \frac{dC_A}{dX_B} \quad (2)$$

где N_A – число молей вещества А, диффундирующего в одном направлении через единицу поперечного сечения в единицу времени, моль;

D – кинематический коэффициент диффузии, м²/с;

C_A – концентрация диффундирующего вещества, кг/м³;

C_B – концентрация среды диффузии, кг/м³;

X_B – длина в направлении диффузии, м;

$\frac{dC_a}{dX_B}$ – градиент концентрации диффундирующего вещества по координате X.

Знак минус перед градиентом концентрации показывает, что концентрация C_A уменьшается в направлении диффузии. Градиент концентрации $\frac{dC_A}{dX_B}$ тем больше, чем больше сопротивление встречает диффузия молекул вещества

А. Величина этого сопротивления пропорциональна концентрациям молекул в среде, в которой происходит диффузия. Она будет тем меньше, чем больше результирующая скорость молекул вещества растворителя в направлении, противоположном движению вещества.

Коэффициент кинематической диффузии D_{AB} представляет собой коэффициент пропорциональности между потоком компонента А и градиентом его в направлении диффузии и определяется в общем случае для газов по следующему рабочему уравнению Чэпмена и Энскога [5]:

$$D_{AB} = \frac{3\pi kT}{8} \sqrt{\left(\frac{M_A + M_B}{M_A M_B}\right)} \cdot \frac{1}{n\pi\sigma_{AB}^2\Omega_D} f_D, \text{ м}^2/\text{с} \quad (3)$$

где M_A, M_B - молекулярные массы растворенного вещества и растворителя, кг;

n - число молекул в 1 м^3 ;

k - постоянная Больцмана;

T - температура, °С;

Ω - интеграл столкновений для диффузии (является функцией температуры и зависит от выбранного закона молекулярных сил взаимодействия сталкивающихся молекул);

Σ_{AB} - характеристическое расстояние (оно тоже зависит от выбранного закона межмолекулярных сил);

f_D - корректирующий член, имеющий значение порядка 1,0-1,1.

В случае диффузии паров химических консервантов через слой растительного сырья, происходящий при атмосферном давлении и при температуре в 23 °С влияние давления и температуры на коэффициент незначительно. Поэтому Ибрагим и Кулоор установили для диффузии газов и паров в воздух линейную зависимость от молекулярной массы M , и на этом основании предложили формулу [6]:

$$D_{AB} = \frac{100\mu V_M}{0.122M - 1.3}, \text{ м/с} \quad (4)$$

где μ - динамический коэффициент вязкости паров консервантов, Па·с;

V_M - мольный объем паров, $\text{м}^3/\text{моль}$;

M - молярная масса паров, кг/моль .

В слое растительного сырья с плотностью прессования в среднем 150 кг/м^3 коэффициент кинематической диффузии меньше, по сравнению с диффузией пара в воздух.

Поэтому для расчета коэффициента диффузии в слое растительного сырья предлагают ввести поправочный коэффициент $\mu_c = 1,7$ [7].

Формула 3 с учетом этого коэффициента представляется в виде:

$$D_{kc} = \frac{D_{AB}}{\mu_c} = \frac{100\mu V_M}{(0,122M - 1,3)\mu_c} \quad (5)$$

где D_{kc} - расчетный коэффициент кинематической диффузии паров химических консервантов в среде растительных материалов, $\text{м}^2/\text{с}$.

Результаты расчетов коэффициентов D_{kc} для паров основных жидких консервантов представлены в таблице 1.1.

Паровая и жидкая фазы химических веществ находятся в равновесии, которое в общем случае описывается уравнением Клаузиуса – Клапейрона [8]:

$$\frac{dP_{vp}}{dT} = \frac{\Delta H_v}{(RT^2 / P_{vp}) \cdot \Delta Z_v} \quad (6)$$

где P_{vp} - давление паров, Па;

ΔH_v - теплота парообразования, Дж/кг;

R - универсальная газовая постоянная;

T - температура, $^{\circ}\text{K}$;

Z_v - коэффициент сжимаемости пара.

Подставляя в уравнение 6 значения мольных объемов жидкости и пара, определяем теплоту парообразования:

$$\Delta H_v = \frac{dP_{vp} T}{dT} (V_{Mn} - V_{Mжк}), \text{ Дж/кг} \quad (7)$$

где V_{Mn} - мольный объем пара, м³/моль;

$V_{Mжс}$ - мольный объем жидкости, м³/моль;

J - механический эквивалент теплоты.

Для расчета численных значений воспользуемся эмпирической интерпретацией уравнения 7:

$$L_{Pch} = \frac{\left(\frac{\Delta H_v}{M}\right)^{4/5}}{\frac{1}{V_{Mжс}} - \frac{1}{V_{Mn}}} \quad (8)$$

где L_{Pch} - значение лиопарахора, вычисленное для химических консервантов по долям Боутена и Джонса [8];

ΔH_v - теплота парообразования, Дж/кг;

M - молекулярная масса, кг/моль;

$V_{Mn}, V_{Mжс}$ - мольные объемы жидкой и паровой фаз, м³/моль.

Решая уравнения 8 относительно V_{Mn} , получим следующую зависимость:

$$V_{Mn} = \frac{L_{Pch}}{\frac{L_{Pch}}{V_{Mжс}} - \left(\frac{\Delta H_v}{M}\right)^{4/5}}, \text{ м}^3/\text{моль} \quad (9)$$

Исходные данные и результаты расчетов $D_{кс}$ приведены в таблице 1.

Основные результаты

Из-за отсутствия детально разработанной теории жидкого агрегатного состояния до сих пор еще невозможно точно представить механизм диффузии в жидкостях. Попытки разработать теоретически обоснованный метод расчета коэффициента кинематической диффузии в жидкостях не привели к удовлетворительным результатам [8]. В связи с тем, что физико-химические свойства растительного сока и воды мало отличаются друг от друга, представляется возможным использование полуэмпирических методов расчета коэффициента диффузии в бинарных смесях применительно к диффузии жидкой фазы химического препарата в соке растений.

Таблица 1 – Расчетные значения коэффициентов диффузии паров различных химических консервантов в растительном сырье

Наименование хим. консерванта	Мол. масса $M \cdot 10^3$ кг/моль	Плотность раствора $J_{жс}$ кг/м ³	Плотность растра $J_{л}$ кг/м ³	Теплота парообразования ($\tau=23^\circ\text{C}$) ΔH_v	Лиопарахор L_{Pch}	Мольный объем пара $V_{Mn} \cdot 10^6$	Мольный объем жидкости $V_{Mжс} \cdot 10^6$	$\frac{V_{Пжс} \cdot \gamma_n}{V_{Mжс} \cdot \gamma_{жс}}$	Коэф. $D_{кс}, \text{м}^2/\text{с}$
АИВ-2000+	60,05	1049	2,4	352	11,8	59	57	0,25	7
Пропионовая кислота	74,08	992	2,9	364	13,7	71	75	0,28	6
Муравьиная кислота	46,03	1220	1,8	432	10,1	41	38	0,17	9

Согласно развитой Эйрингом теории абсолютной скорости процессов, молекулы диффундирующего вещества проникают в промежутки – «дыры» – между молекулами растворителя [7]. При этом коэффициент кинематической диффузии может быть определен как:

$$D = \left(\frac{V_M}{N_o}\right)^{2/3} \left(\frac{kT}{h}\right) e^{\frac{\Delta S}{k}} e^{-\frac{\Delta H}{RT}}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (10)$$

где V_M - мольный объем растворителя, м³/моль;

T - абсолютная температура °К;

ΔS - энтропия активации процесса диффузии;

ΔH - теплота активации процесса, Дж/кг;

N_o - число Авогадро;

k - постоянная Больцмана;

h - постоянная Планка;

R - газовая постоянная.

Основываясь на выводах статистической механики, Камаль и Канджар [4] вывели формулу, с помощью которой рассчитываются коэффициенты D со средней погрешностью 13%:

$$D = \frac{\left[1,6\left(\frac{U_o}{U}\right) + 2,56\left(\frac{U_o}{U}\right)^2 G \right] \left(\frac{U_o}{U}\right)^{2/3}}{24L_{исп} - 39RT} \cdot 6,19 \cdot 10^{-5} \left(\frac{T}{M}\right)^{1/2} V_0^{1/3}, \quad (11)$$

где: $G = 1 + 2,5\left(\frac{U_o}{U}\right) + 4,5864\left(\frac{U_o}{U}\right)^2$;

$L_{исп}$ - теплота испарения растворенного вещества при температуре T , °К;

M - молекулярная масса, кг;

R - газовая постоянная;

U_o - объем одного моля, м³;

U - полный объем, приходящийся на одну молекулу, м³;

V - объем, занимаемый одной молекулой, м³.

На основании полуэмпирических методов расчета кинематического коэффициента диффузии в жидкостях, рядом авторов [8] получены следующие основные зависимости коэффициента D .

Кинематический коэффициент диффузии D растворенного вещества 1 в растворителе 2 при температуре 20°C по Арнольду [12] равен:

$$D_1 = \frac{0,01}{A_1 A_2 \mu_2^{1/2} (V_{M1}^{1/3} + V_{M2}^{1/3})^2} \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2}\right)^{1/2}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (12)$$

где $A_1 A_2$ - поправочные коэффициенты, характеризующие вещество 1 и 2;

μ_2 - динамический коэффициент вязкости растворителя, Па·с;

V_{M1}, V_{M2} - мольные объемы растворенного вещества 1 и растворителя 2, рассчитанные суммированием долей по Леба [6], моль/м³;

M_1, M_2 - молекулярные массы вещества 1 и 2, кг.

Уилк и Ченг [6] предложили следующую зависимость:

$$D_{1,2} = \frac{7,4 \cdot 10^{-8} (xM)^{1/2} T}{\mu V_M^{0,6}}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (13)$$

где M - молекулярная масса диффундирующего вещества, кг/моль;

μ - динамический коэффициент вязкости, Па·с;

x - коэффициент характеризующий процесс ассоциации в растворителе (для воды $x = 2,6$).

Для близких значений мольных объемов диффундирующего вещества и растворителя Шейбель предложил следующее уравнение [7]:

$$D_{AB} = 8,2 \cdot 10^{-8} \frac{T \left[1 + \left(\frac{3V_{MB}}{V_{MA}} \right)^{2/3} \right]}{\mu V_{MA}}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (14)$$

Для воды

$$D = \frac{25,2 \cdot 10^{-8} T}{\mu V_{MA}^{1/3}}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (15)$$

Погрешность расчетов в случае применения воды в качестве растворителя составляет $\pm 9\%$ [3].

Для водных растворов Стимер и Текер [7] предложили формулу в диапазоне температур $t > 20,5$ °C

$$D_B = \frac{14 \cdot 10^{-9}}{\mu_B^{1,1} V_M^{0,6}}, \quad (16)$$

где D_B - коэффициент диффузии в разбавленном водном растворе при $t = 20^\circ\text{C}$, $\text{м}^2/\text{с}$;

μ_B - динамический коэффициент вязкости воды при температуре $t = 20^\circ\text{C}$, $\text{мПа}\cdot\text{с}$.

Результаты расчета коэффициентов кинематической диффузии для химических консервантов в жидкой среде представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициентов кинематической диффузии для химических консервантов в жидкой среде

Наименование хим. консерванта	Растворимость в воде	Плотность раствора $J_{\text{ж}}$ $\text{кг}/\text{м}^3$ при концентрации %			Молекулярная масса раствора M 10^3 , $\text{кг}/\text{моль}$ при концентрации %			Мольный объем раствора $V_{\text{ж}}$ 10^6 , $\text{м}^3/\text{моль}$ при концентрации %			Коэффициент диффузии D 10^9 , $\text{м}^2\cdot\text{с}$ при концентрации %		
		90	60	30	90	60	30	90	60	30	90	60	30
АИВ-2000+	+	1049	1030	1015	60	44	31	57	42	30	1,2	1,5	1,8
Пропионовая кислота	+	992	994	998	74	52	35	75	52	35	1,1	1,3	1,1
Муравьиная кислота	+	1220	1132	1066	46	35	26	38	31	25	1,6	1,8	2,0

Заключение

Из приведенного выше, следует, что жидкие химические консерванты, являющиеся, как правило, органическими летучими соединениями семейства карбоновых кислот, обладают значительной фугитивностью процесса парообразования. Поэтому, после введения определенной массы жидкости в растительное сырье одновременно происходит два процесса диффузии: диффузия паров кислот в воздушные промежутки растительного сырья и диффузия жидкой фазы консерванта внутри стеблей растений.

Установлено, что соотношение между парообразной и жидкой фазами химических консервантов можно характеризовать следующими данными: муравьиная кислота – 0,16%; АИВ2000 Плюс – 0,28; пропионовая кислота – 0,25.

Коэффициент кинематической диффузии $D_{1,2}$, характеризующий процесс распространения консервантов в стебельчатой растительной массе, является постоянной величиной, определяющей комплексное (эффективное) распределение парообразной и жидкой фаз консерванта. Численное значение этого коэффициента находится в пределах между значениями коэффициента диффузии пара и жидкости. Так как численные значения коэффициентов диффузии консервантов в литературных источниках отсутствуют, необходимо провести экспериментальные исследования, с целью их определения. В дальнейшем использование коэффициента диффузии при математическом моделировании процесса воздействия консерванта на растительном сырье позволит определить характер изменения концентрации консерванта в растительном материале и на его основе установить параметры работы оборудования.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Coblenz W.K. Effects of a propionic acid-based preservative on storage characteristics, nutritive value, and energy content for alfalfa hays packaged in large round bales / W.K. Coblenz, M.G. Bertram // Journal of Dairy Science, Volume 95, 2012; Issue 1, Pages 340-352.
2. Coblenz, W.K. Nutritive value and fermentation characteristics of alfalfa-mixed grass forage wrapped with minimal stretch film layers and stored for different lengths of time / W.K. Coblenz, R.K. Ogden, M.S. Akins et al. // Journal of Dairy Science. 100. DOI: 10.3168/jds.2016-12404.
3. Baah J. Effect of Lactobacillus buchneri 40788 and Buffered Propionic Acid on Preservation and Nutritive Value of Alfalfa and Timothy High-moisture Hay Asian-Australas / J. Baah, T. McAllister, L. Bos et al. // J Anim Sci 2005;18(5):649-660. DOI: 10.5713/ajas.2005.649
4. Поташников П.Ф. Использование метода Брунауэра-Эммета-Теллера для анализа внутренней структуры упаковочных картонов / П.Ф. Поташников, Л.Ю. Комарова // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. – 2012. – №12. – С. 114 – 119.
5. Галкин, В.С. Преобразование уравнений первого приближения методом Чепмена-Энскога и векторные соотношения переноса для смесей многокомпонентных газов / В.С. Галкин // ПИММ. -2007. -Т. 71. -Вып. 2. -С. 301 -302.
6. Новоселов А.Г. Молекулярная диффузия газов в жидкости. Коэффициенты молекулярной диффузии диоксида углерода в воде / А.Г. Новоселов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – №2. – С. – 19.
7. Шишацкий Ю.И. Определение коэффициентов диффузии экстрактивных веществ в люпине / Ю.И. Шишацкий, С.Ю. Плуха, С.С. Иванов // Вестник ВГУИТ. – 2014. – №2. – С. 28 – 32.

8. Валге А.М. Оценка эффективности технологических процессов заготовки кормов из трав / А.М. Валге, А.И. Сухопаров // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 3 (96). С. 129-138. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10066

Список литературы на английском языке / References in English

1. Coblenz W.K. Effects of a propionic acid-based preservative on storage characteristics, nutritive value, and energy content for alfalfa hays packaged in large round bales / W.K. Coblenz, M.G. Bertram // Journal of Dairy Science, Volume 95, 2012; Issue 1, Pages 340-352.

2. Coblenz, W.K. Nutritive value and fermentation characteristics of alfalfa-mixed grass forage wrapped with minimal stretch film layers and stored for different lengths of time / W.K. Coblenz, R.K. Ogden, M.S. Akins et al. // Journal of Dairy Science. 100. DOI: 10.3168/jds.2016-12404.

3. Baah J. Effect of Lactobacillus buchneri 40788 and Buffered Propionic Acid on Preservation and Nutritive Value of Alfalfa and Timothy High-moisture Hay Asian-Australas / J. Baah, T. McAllister, L. Bos et al. // J Anim Sci 2005;18(5):649-660. DOI: 10.5713/ajas.2005.649

4. Potashnikov P.F. Ispol'zovanie metoda Brunaue'ra-E'mmeta-Tellera dlya analiza vnutrennej struktury` upakovochny`x kartonov [The use of the Brunauer-Emmett-Teller method for analyzing the internal structure of packaging cartons] / P.F. Potashnikov, L.Yu. Komarova // Vestnik MGUP imeni Ivana Fedorova. – 2012. – №12. – P. 114 – 119. [in Russian]

5. Galkin, V.S. Preobrazovanie uravnenij pervogo priblizheniya metodom Chepmena -E`nskoga i vektorny`e sootnosheniya perenosa dlya smesey mnogokomponentny`x gazov [Transformation of the first approximation equations by the Chapman-Enskog method and vector transfer relations for mixtures of multicomponent gases] / V.S. Galkin // PMM. -2007. -Vol. 71. - Issue. 2. - P. 301 -302. [in Russian]

6. Novoselov A.G. Molekulyarnaya diffuziya gazov v zhidkosti. Koe`fficienty` molekulyarnoj diffuzii dioksida ugleroda v vode [Molecular diffusion of gases in a liquid. Coefficients of molecular diffusion of carbon dioxide in water] / A.G. Novoselov // Nauchny`j zhurnal NIU ITMO. Seriya: Processy` i apparaty` pishhevy`x proizvodstv. – 2014. – №2. – P. 19. [in Russian]

7. Shishaczkiy Yu.I. Opredelenie koef`ficentov diffuzii e`kstraktivny`x veshhestv v lyupine [Determination of diffusion coefficients of extractive substances in lupine] / Yu.I. Shishaczkiy, S.Yu. Plyuxa, S.S. Ivanov // Vestnik VGUIT. – 2014. – №2. – P. 28 – 32. [in Russian]

8. Valge A.M. Ocenka e`ffektivnosti texnologicheskix processov zagotovki kormov iz trav [Evaluation of the efficiency of technological processes of forage harvesting from herbs] / A.M. Valge, A.I. Suxoparov // Texnologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2018. № 3 (96). P. 129-138. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10066 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.018>

ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ БЕЛКА И МАССОВОЙ ДОЛИ ЖИРА У КОРОВ РАЗНЫХ ГЕНЕРАЦИЙ С ВОЗРАСТОМ

Научная статья

Бакай Ф.Р.¹, Мкртчян Г.В.^{2,*}

^{1,2}Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (milan1011[at]mail.ru)

Аннотация

Внутрипородная селекция – главный метод совершенствования пород. Этот метод селекции основан на закономерностях изменчивости, наследственности и взаимосвязи хозяйственно-полезных признаков [1]. Определение корреляционных связей отдельных признаков позволяет вести селекцию по совершенствованию молочных пород [6]. В молочном скотоводстве важное значение имеет изучение изменчивости массовой доли белка у коров с возрастом. Изменчивость величины удоя, содержания массовой доли жира и белка зависят от многих факторов, не исключением является генетически обусловленная наследуемость [2], [3], [4], [5]. Изучение изменчивости и взаимосвязи содержания массовой доли белка особо актуально у коров разных генераций [2], [3], [4].

Исследования показывают, что при высоком уровне молочного стада возможности селекции высокопродуктивных первотелок от матерей разного возраста неодинаковы. Интенсификация молочного скотоводства невозможна без создания высокопродуктивных животных, способных проявлять высокие показатели продуктивности по I лактации, но и повышать ее с возрастом, реализуя генетический потенциал молочной продуктивности характерной для голштинской породы. Улучшая технологию кормления и содержания, обеспечив дифференцированный подход к первотёлкам, можно значительно повысить молочную продуктивность скота.

Одна из целей исследователей и селекционеров использовать методологию отбора, которая может привести к увеличению производства молока. Статистические обработки методом вычислительной техники позволило использовать более совершенные методы, позволяющие получить более точную оценку продуктивным качествам коров. Следовательно, результат этой оценки может быть основополагающим в принятии решений в программах отбора, а также в управленческих решениях. Общий надой молока коррелирует с продукцией на разных этапах лактации. [8], [10].

Ключевые слова: изменчивость, корреляция, удой, массовая доля жира, массовая доля белка, лактация.

VARIABILITY AND INTERRELATION OF THE CONTENT OF THE MASS FRACTION OF PROTEIN AND THE MASS FRACTION OF FAT WITH AGE IN COWS OF DIFFERENT GENERATIONS

Research article

Bakai F.R.¹, Mkrtychyan G.V.^{2,*}

^{1,2}Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin, Moscow, Russia

* Corresponding author (milan1011[at]mail.ru)

Abstract

Intrabreed mating is the main method of improving breeds. This method of selection is based on the patterns of variability, heredity and the relationship of economically useful traits [1]. The determination of correlations of individual traits allows for breeding with the goal of improving dairy breeds [6]. In dairy cattle breeding, it is important to study the variability of the mass fraction of protein in aged cows. The variability of the milk yield, the content of the mass fraction of fat and protein depend on many factors, genetically determined heritability is not an exception [2], [3], [4], [5]. The study of variability and interrelation of the content of the mass fraction of protein is especially relevant in cows of different generations [2], [3], [4].

Studies show that with a high level of dairy herd, the possibilities of breeding highly productive first-born heifers from mothers of different ages are not the same. The intensification of dairy cattle breeding is impossible without the creation of highly productive animals capable of not only showing high productivity indicators for the first lactation but also to increase it with age realizing the genetic potential of dairy productivity characteristic of the Holstein breed. By improving the technology of feeding and maintenance and providing a differentiated approach to the first heifers it is possible to significantly increase the dairy productivity of livestock.

One of the goals of researchers and stockbreeders is to use a selection methodology that can lead to an increase in milk production. Statistical processing via computer technology made it possible to use more advanced methods in obtaining a more accurate assessment of the productive qualities of cows. Consequently, the result of this assessment can be fundamental in decision-making in selection programs, as well as in management decisions. The total milk yield correlates with the production at different stages of lactation [8], [10].

Keywords: variability, correlation, milk yield, fat mass fraction, protein mass fraction, lactation.

Введение

В мировой практике разведения молочного скота в последние годы все больше и больше набирают темпы совершенствование молочных пород с использованием генотипа голштинской породы. Высокая продуктивность молочного скота в стране и его значительное поголовье дают возможность всесторонне изучить хозяйственно- ценные признаки. Многие учёные разрабатывали методы оценки производителей с учётом степени влияния предков и боковых

родственников. Важно изучать возможность раннего прогнозирования молочной продуктивности и выявить закономерности, определяющие ее уровень в зависимости от возраста коров.

Развитие молочного скотоводства в мире характеризуется интенсификацией селекционного процесса, направленного на повышение экономичности производства молока путём изменения соотношения разводимых пород, численности скота в хозяйствах, технологий и методов оценки коров, программ разведения животных.

Оценки генетических параметров для первой, второй и третьей лактации рассматриваются для оценки популяции крупного рогатого скота. Предполагается, что гены, влияющие на продуктивность в первую лактацию, являются теми же генами, которые влияют на продуктивность в последующие лактации. Очевидно, что на молочную продуктивность оказывает влияние течение лактации. Чем более устойчива лактационная кривая при достаточно высокой продуктивности, тем ценнее животное, как в племенном, так и в технологическом и хозяйственном отношении.

Результаты исследования

Исследования по изучению изменчивости массовой доли белка и жира проводились на животных голштинской породы ООО «Вохринка» Раменского района Московской области. Стадо представлено молодыми животными, средняя продуктивность составляет 7224 кг при массовой доле жира 4,07 % и массовой доле белка 3,19 %. Группы животных были сформированы с учётом генераций, т.е. оценивались коровы-дочери и коровы матери этих дочерей. Каждая группа была представлена лактирующими животными, учитывали удой за первую лактацию, вторую, третью, по каждой лактации учитывали массовую долю жира и белка. Всего изучены показатели изменчивости у 30 коров – дочерей и 30 коров матерей. Группу коров представляли здоровые животные, продуктивность которых была выше 8000 кг молока за лактацию. При сопоставлении изменчивости разноимённых признаков и выявления уровней изменчивости у одноимённых признаков коров разных генераций пользовались коэффициентом изменчивости, который показывает изменчивость секционированных признаков в относительных величинах, т.е. процентах. Математическую обработку полученных данных в результате исследований и вычисление генетико – популяционных параметров проводили на основе общепринятых методик в Microsoft Office Excel.

Таблица 1 – Изменчивость признаков молочной продуктивности у коров разных генераций

Лактация	n	Коэффициент изменчивости, %					
		Матери			Дочери		
		Удой, %	Массовая доля жира, %	Массовая доля белка, %	Удой, %	Массовая доля жира, %	Массовая доля белка, %
I	30	27,0	6,0	7,1	21,0	5,8	6,9
II	30	24,9	6,0	7,5	20,7	6,0	5,0
III	30	20,7	7,3	6,4	20,3	6,0	5,1

Полученные результаты показывают (табл.1), что наибольшей изменчивостью у коров характеризуется величина удоя за лактацию. У коров-матерей изменчивость величины удоя за первую лактацию оказалась самой высокой и составила 27,0%. По второй лактации изменчивость признака снизилась до 24,9% и меньшей она была по удою за полновозрастную лактацию 20,7%. У коров матерей изменчивость массовой доли жира находилась в пределах от 6,0% до 7,3%. Практически равной ей была изменчивость и массовой доли белка первая лактация - 7,1%; вторая лактация – 7,5%; третья лактация – 6,4%. В целом эти параметры характерны для коров голштинской породы. Рассматривая изменчивость показателей молочной продуктивности у дочерей установлено, что, как и у матерей изменчивость величины удоя была высокой и составила по первой лактации 21,0%, по второй и третьей лактации ее значения совпадали – 20,7% и 20,3%, соответственно. По массовой доле жира у коров дочерей мы не наблюдаем увеличение изменчивости, которая находилась в пределах от 5,8 % до 6,0%, по сравнению с группой коров матери. Значения по первой и второй лактации также совпадали. Что следует отметить, что изменчивость массовой доли белка у коров дочерей имеет тенденцию на снижение. Первая лактация – 6,9%, по второй и третьей лактации изменчивость от 5,0% до 5,1%. Это говорит, о том, что в стадах с высоким уровнем продуктивности при целенаправленной селекции, желательно иметь более низкие показатели изменчивости, что свидетельствует о начавшейся консолидации признака. В данном стаде в генерации матери изменчивость признаков была по удою выше, что и позволяло вести отбор успешнее. Данные о величине взаимосвязи между признаками молочной продуктивности у коров разных генераций приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Корреляция между признаками молочной продуктивности у коров разных генераций

Хозяйственно-полезные признаки	n	Коэффициент корреляции, %					
		матери			дочери		
		I	II	III	I	II	III
Лактация							
Удой, кг - массовая доля жира, %	30	-0,11	-0,12	-0,10	-0,12	-0,17	0,09
Удой, кг -массовая доля белка, %	30	-0,13	-0,14	-0,15	-0,14	-0,15	-0,11
Массовая доля жира, % - массовая доля белка, %	30	0,32	0,54	0,70	0,36	0,42	0,51

Корреляционный анализ позволяет выяснить связь между показателями, характеризующими коров по различным биологическим признакам. Результаты исследований показывают, что характер и величина связей между показателями молочной продуктивности разнообразны. Однако выявлена и подтверждена общая закономерность, что между удоем и содержанием массовой доли жира у коров – матерей наблюдается не высокая отрицательная связь (от $r = -0,10$ до $-0,12$), в разные лактации. Между удоем и массовой долей белка в молоке в группе коров матерей связь отрицательная, но значения ее повышаются, тогда как между массовой долей жира и массовой долей белка связь положительная. И от низких положительных значений $r = +0,32$ (по первой лактации) она увеличивается до высоких $r = +0,70$ по третьей лактации. У высокопродуктивных коров дочерей выявлена отрицательная связь между удоем и массовой долей жира по первой и второй лактации $r = -0,12$ и $r = -0,17$. Корреляция по третьей лактации меняет направление и из отрицательных значений переходит в положительные, но значения этой связи низкие $r = +0,09$. С увеличением удоев, как правило наблюдается снижение основных компонентов молока, однако здесь мы этого не наблюдаем. Между массовой долей белка и массовой долей жира у коров дочерей, выявлена положительная связь. Если по первой лактации она низкая $r = +0,36$, то во второй $r = +0,42$, то по третьей связь становится средней и величина ее составляет $r = +0,56$.

Заключение

Таким образом, в наших исследованиях у высокопродуктивных коров разных генераций взаимосвязь между величиной удоя, массовой долей жира и белка в молоке разнообразна. Это обусловлено как наследственностью, так и различной изменчивостью признаков и что важно отметить, продолжительностью селекции по одному из признаков. Удой является основным селекционируемым признаком, а содержание массовой доли белка в молоке признаком, который требует определённых дополнительных селекционных мероприятий.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Альмохамад А.М. Молочная продуктивность коров разных пород и генераций / Альмохамад А.М., Бакай Ф.Р. // Актуальные вопросы биологии, биотехнологии, ветеринарии, зоотехнии, товароведения и переработки сырья животного и растительного происхождения: Материалы национальной научно- практической конференции ФГБОУ ВО МГАВМиБ -МВА имени К. И. Скрябина – М., 2021.- С.-128-129.
2. Ермилов, А.Н. Племенная оценка молочного скота / А.Н. Ермилов, А. Волынцев // Животноводство России. – 2002. - № 12. – с.6-8.
3. Кузнецов В.М. Селекция голштинов при внутрипородном разведении / В.М. Кузнецов // Молочное и мясное скотоводство.- 2007.-№5.-С.33-34.
4. Лесун, А.Н. Влияние генетических факторов на белковомолочность коров красно-пестрой породы / А.Н. Лесун : Автореферат Красноярск, 2011.
5. Лефлер, Т.Ф. Массовая доля белка и жира в молоке коров в зависимости от их удоя / Т.Ф. Лефлер // Вестник КрасГАУ. Красноярск, 2011. №6. С.86-90.
6. Макаров, Н.В. Сравнительный анализ белкового состава молока у коров молочного и мясного направления продуктивности / Н.В. Макаров, И.Н. Камалдинов, Р.А. Хаердинов // Ученые записки Казанской государственной академии медицины им. Н.Э.Баумана. – 2015.- Т. 224 (4). - С.125-128.
7. Проблемы реализации потенциала продуктивности молочного скота / Р. В. Некрасов, А. С. Аникин, В. М. Дуборезов и др. // Зоотехния. – 2017 – № 3 – с. 7-12.
8. Сударев, Н.П. Селекционно- технологические приемы повышения эффективности молочного животноводства / Н.П. Сударев, Г.А. Шаркаева, М.Е. Журавлева и др. // Молодой ученый – Брянск -8.3(88.3)-2015. - С. 60-62.
9. Харитонов С.Н. Теоретические основы генетического совершенствования популяций животных: руководство / А.А.Сермягин, Е.Е.Мельникова и др. - Дубровицы: ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К.Эрнста, 2020.-15с.
10. Улимбашев, М.Б. Современное производства молока с использованием генофонда голштинского скота / М.Б. Улимбашев, Д.Р. Смакуев, М.А. Текеев и др. // Издательство Илекса (Москва). – 2015 –С. 392.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Almohamad A.M. Molochnaja produktivnost' korov raznykh porod i generacij [Dairy productivity of cows of different breeds and generations] / A.M. Almohamad, F.R. Bakai // Aktual'nye voprosy biologii, biotekhnologii, veterinarii, zootekhnii, tovarovedenija i pererabotki syr'ja zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdenija: Materialy nacional'noj nauchno- prakticheskoy konferencii FGBOU VO MGAVMiB -MVA imeni K. I. Skryabina [Topical issues of biology, biotechnology, veterinary science, animal science, commodity science and processing of raw materials of animal and plant origin: proceedings of the National scientific and practical conference of the Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Skryabin] - M., 2021. - p.-128-129 [in Russian]
2. Ermilov, A.N. Plemennaja ocenka molochno skota [Breeding evaluation of dairy cattle] / A. N. Ermilov, A. Volyntsev // Zhivotnovodstvo Rossii [Animal husbandry of Russia]. - 2002. - No. 12. - pp.6-8 [in Russian]
3. Kuznetsov, V.M. Selekcija golshtinov pri vnuritporodnom razvedenii [Selection of holsteins in intrabreed breeding] / V. M. Kuznetsov // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo [Dairy and beef cattle breeding].- 2007.-No. 5.-pp.33-34 [in Russian]
4. Lesun, A.N. Vlijanie geneticheskikh faktorov na belkovomolochnost' korov krasno-pestrojj porody [The influence of genetic factors on the protein-milk content of red-mottled cows]: extended abstract / A. N. Lesun. Krasnoyarsk, 2011 [in Russian]
5. Lefler, T.F. Massovaja dolja belka i zhira v moloke korov v zavisimosti ot ikh udoya [The mass fraction of protein and fat in the milk of cows, depending on their milk yield] / T. F. Lefler // Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. Krasnoyarsk, 2011.No.6.pp.86-90 [in Russian]

6. Makarov, N.V. Sravnitel'nyjj analiz belkovogo sostava moloka u korov molochного i mjasного napravlenija produktivnosti [Comparative analysis of the protein composition of milk in dairy and meat cows of productivity] / N.V. Makarov, I.N.Kamaldinov, R.A. Khaerdinov // Uchenye zapiski Kazanskojj gosudarstvennojj akademii mediciny im. N.Eh.Baumana [Bulletin of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman]. - 2015.- Vol. 224 (4).-p.125-128 [in Russian]
7. Nekrasov R. V. Problemy realizacii potenciala produktivnosti molochного skota [Problems of realizing the productivity potential of dairy cattle] / R. V. Nekrasov, A. S. Anikin, V. M. Duborezov, et al. // Zootekhnija [Animal Science]. - 2017 - No. 3- pp. 7-12 [in Russian]
8. Sudarev, N.P. Selekcionno- tekhnologicheskie priemy povyshenija ehffektivnosti molochного zhivotnovodstva [Selection and technological methods of increasing the efficiency of dairy farming] / N.P. Sudarev, G.A.Sharkaeva, M.E. Zhuravlevad, et al. // Molodoy Uchyonyi - Bryansk -8.3(88.3)-2015.-pp.60-62 [in Russian]
9. Kharitonov S.N. Teoreticheskie osnovy geneticheskogo sovershenstvovanija populjaccij zhivotnykh: rukovodstvo [Theoretical foundations of genetic improvement of animal populations: guidelines] / S.N. Kharitonov, A.A.Sermyagin, E.E.Melnikova et al.- Dubrovitsy: L.K.Ernst Federal Livestock Research Center, 2020.-15 p. [in Russian]
10. Ulimbashev, M.B. Sovremennoe proizvodstva moloka s ispol'zovaniem genofonda golshtinskogo skota [Modern milk production using the gene pool of Holstein cattle] / M.B. Ulimbashev, D.R. Smakuev, M.A. Tekeev et al. Moscow : Publishing house Ileksa. - 2015 -P. 392 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.019>

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВ ГОРОХА

Научная статья

Бугрей И.В.*

ORCID: 0000-0003-0583-0911,

Донской государственной аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (inna-bugrejj[at]rambler.ru)

Аннотация

При изучении районированных в разные годы усатых сортов гороха Донской селекции было установлено, что менее полегающие сорта имели более утолщенный от корня стебель, прочную соломинку с большим количеством механической ткани и сформированным мощным усом (видоизмененным листьям), доля которых составила 31,5 и 31,7 %. На единицу массы усов приходилось меньшее количество общей биомассы, что позволило им лучше удерживать растения в вертикальном положении и в большей степени противостоять неблагоприятным факторам, способствующим полеганию. Выявлены наиболее продуктивные сорта гороха.

Ключевые слова: сорта гороха, коэффициент полегания, механическая ткань, отношение массы растения к массе усов, продуктивность.

TECHNOLOGICAL EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY OF MODERN PEA VARIETIES

Research article

Bugrey I.V.*

ORCID: 0000-0003-0583-0911,

Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (inna-bugrejj[at]rambler.ru)

Abstract

When studying the Don selection among the leafless varieties of peas zoned in different years, it was found that the less lodged varieties had a stem thicker from the root, a strong culm with a large amount of mechanical tissue and formed powerful modified leaves, the proportion of which was 31.5 and 31.7%. There was a smaller amount of total biomass per unit mass of leaves, which allowed them to better hold plants in an upright position and resist adverse factors contributing to lodging to a greater extent. The author identifies the most productive varieties of peas.

Keywords: pea varieties, lodging coefficient, mechanical tissue, ratio of plant mass to leaf mass, productivity.

Введение

Среди возделываемых в Российской Федерации зернобобовых основное значение имеет горох, посевы которого занимают около 80% ареала этой группы культур. Потребность в растительном белке, производимом за счет гороха, обеспечивается в среднем на 55-60 %. Поэтому интересы народного хозяйства настойчиво требуют расширения производства этой культуры [8, С. 4-10].

Усилиями селекционеров в последние десятилетия на основе изменения архитектоники растения, создано новое поколение сортов гороха в максимальной степени, отвечающих современным требованиям производства: технологичных – устойчивых к полеганию, израстанию, с неосыпающимися семенами различных по хозяйственным и биологическим свойствам [5, С. 46-52], [6, С. 4-7].

Современное сельскохозяйственное производство предъявляет высокие требования к новым сортам. Сроки использования их в производстве сокращаются до 5-6 лет. Современные сорта гороха превосходят первые промышленные сорта по многим показателям, но еще далеки от совершенного типа.

Урожайность гороха на зерновые цели за последние 50-60 лет увеличилась до 3,0-4,5 т/га, а отдельные сорта при благоприятных погодных и агротехнических условиях могут формировать свыше 6,0 т/га. Вклад сорта в формирование урожая достиг 60 % [4, С. 15-21].

Однако устойчивость современных сортов культуры к экстремальным погодным условиям существенно не изменилась, и они по-прежнему сильно угнетаются при избыточном увлажнении и, особенно, в засуху.

По данным А.В. Амелина и Е.И. Чекалина [3, С. 4-14] в неблагоприятные годы (высокая температура воздуха, недостаток влаги) недобор урожая семян гороха с растения может составлять 62,2 %.

Целью наших исследований была максимально точная в условиях полевого опыта сравнительная оценка сортов гороха по технологичности и урожайности.

Новизна исследований. Впервые у сортов гороха с видоизмененным морфотипом листа были выявлены причины полегания.

Методика исследований

Опыты по исследованию сортов гороха зернового направления проводили в 2018-2020 гг. на полях Донского сортоиспытательного центра Дон ГАУ. Норма посева гороха составила 120 семян на м². Повторность опыта трехкратная. Расположение вариантов последовательное. Площадь делянки 4 м². Метод исследований лабораторный и лабораторно-полевой. Технология выращивания культуры – общепринятая для зоны возделывания.

Почвенный покров территории преимущественно состоит из североприазовских чернозёмов, которые представлены в основном карбонатными разностями. Сумма поглощённых оснований в пахотном горизонте колеблется от 33 до 39 мг-экв. на 100 г почвы. Обменный кальций преобладает над обменным магнием. Реакция почвенной среды слабо - и среднещелочная (7,8-8,2) [1].

Для проведения сравнительной оценки в качестве объектов исследований использовали сорта гороха с видоизмененным морфотипом листа Донской селекции: Аксайский усатый 5 (контроль), Альянс, Атаман и Сотник.

Полевые опыты, фенологические наблюдения, учеты и измерения проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [10] и Методикой полевого опыта [7].

Годы исследований 2018–2020 заметно отличались по гидротермическим показателям. В целом по температуре, количеству осадков и их распределению по периодам вегетации гороха наиболее благоприятные условия складывались в 2019 и 2020 гг., неблагоприятные - в 2018 г.

Основные результаты

В последнее время внимание производителей привлекают низкорослые сорта гороха с неполегающим стеблем. Устойчивость их к полеганию обусловлена более короткой и прочной соломиной, укороченными междуузлиями и мощно развитыми на растении усам.

Исследуемые нами сорта незначительно различались по высоте стеблестоя. Минимальные показатели были отмечены у сорта гороха Атаман-68,6 см. Высота растений контрольного варианта составила 74,8 см. (табл.1).

Таблица 1 – Морфологические особенности сортов гороха по годам исследований (2018-2020)

Вариант	Длина стебля, см	Диаметр 2-х нижних междуузлий, см	Число склеренхимных пучков, шт.	Коэффициент полегания
Аксайский усатый 5 (контроль)	74,8	0,32	9,8	0,42
Альянс	73,3	0,38	12,7	0,61
Атаман	68,6	0,52	16,9	0,90
Сотник	69,9	0,53	17,0	0,91

Фенологические наблюдения показали, растения гороха усатых сортов Аксайский усатый 5 и Альянс начали полегать до периода бутонизации.

Такой вид полегания чаще наблюдается у форм с более тонким стеблем на первых нижних междуузлиях [9, С. 79-83].

Сорта гороха Атаман и Сотник имели более утолщенный от корня стебель - 0,52 и 0,53 см., поэтому полегание отодвинулось на поздние фазы развития, а степень его уменьшилась.

Анатомический анализ разных по устойчивости к полеганию сортообразцов гороха показал, что у изучаемых сортов Атаман и Сотник число склеренхимных пучков было больше (16,9 и 17,0 шт.), расположены они в хлорофилоносной паренхиме. Причем склеренхимные тяжи больше напоминали кольцо с небольшими пробелами, заполненные хлоренхимой. Склеренхима - механическая ткань, состоящая из клеток с утолщенными стенками (образует как бы «каркас»), придает прочность стеблю, не давая ему изгибаться.

Для характеристики полегаемости сортов гороха использовали коэффициент полегания как соотношение высоты травостоя к длине стебля вытянутого растения. Проведенные исследования показали, что в основном все изучаемые сорта достаточно устойчивы к полеганию. У сорта гороха Альянс коэффициент полегания составил 0,61, сортов Атаман и Сотник - 0,90 и 0,91, при 0,42 у контрольного Аксайский усатый 5.

Как показали наши исследования, на полегание сортов гороха также большое влияние оказывает доленое участие усов к общей сформированной биомассе растения. Ведь именно «усы» обладают большими настическими движениями, и сцепляясь друг с другом формируют прочный, неполегающий травостой.

В период углеводное состояние зерна [2, С. 78-79] большая надземная масса была сформирована растениями гороха Атаман и Сотник - 31,28 и 31,31 г/1 растения (табл.2).

Таблица 2 – Надземная масса растений гороха 2018-2020 гг.

Вариант	Масса растения		Масса усов		Отношение массы растения к массе усов
	г	%	г	%	
Аксайский усатый 5 (контроль)	27,81	100	7,17	25,8	3,88
Альянс	29,75	100	8,21	29,1	3,62
Атаман	31,28	100	9,85	31,5	3,18
Сотник	31,31	100	9,94	31,7	3,15

Растениями этих же сортов были сформированы и более мощные усы, доля которых составила 31,5 и 31,7 %. На единицу массы усов приходилось меньшее количество общей биомассы, что позволило им лучше удерживать растения в вертикальном положении и в большей степени противостоять ветру, дождям и другим факторам, способствующим полеганию.

Урожайность гороха – это интегральный показатель продуктивности растений, элементы которой формируются в процессе развития. В связи с неодинаковой адаптацией сортов гороха к конкретным условиям выращивания морфологические признаки, влияющие на продуктивность, в конечном итоге значительно различались.

В 2018 г. весь вегетационный период культуры протекал при неблагоприятных погодных условиях – при повышенном температурном режиме и недостаточном количестве выпавших осадков. Благодаря таким погодным условиям и были выявлены наиболее перспективные и продуктивные сорта гороха.

Большую урожайность относительно контроля имели сорта гороха Атаман - 136,9 г/м² и Сотник - 148,3 г/м², превышение составило 34,7 и 46,1 г/м². Сортом гороха Альянс была сформирована одинаковая с контролем урожайность (табл.3).

Таблица 3 – Урожайность сортов гороха по годам исследований

Вариант	2018 г., г/м ²	2019 г., г/м ²	2020 г., г/м ²	Среднее, г/м ²	Прибавка, г/м ²
Аксайский усатый 5 (контроль)	102,2	137,5	135,4	128,4	-
Альянс	127,8	174,3	178,6	160,2	+31,8
Атаман	136,9	232,3	235,8	201,7	+73,3
Сотник	148,3	197,1	241,7	195,7	+67,3
НСР	26,0	31,0	33,0	29,7	-

Погодные условия 2019 г. в первые период вегетации гороха складывались сравнительно неплохо. Однако в периоды плодообразования и формирования семян среднесуточная температура воздуха была выше на 2,3 °С относительно среднеголетних показателей, с нулевым количеством выпавших осадков. Выпавшая двойная норма осадков в июле месяце не сказалась на урожайности сортов гороха, а повлияла на полегание неустойчивых сортообразцов. Такие погодные условия также оказали отрицательное влияние на формирование продуктивности изучаемых сортов гороха.

Минимальная урожайность была получена на контрольном варианте - 137,5 г/м². Сортами гороха Альянс, Атаман и Сотник была получена достоверная прибавка урожайности относительно контроля. Следует отметить сорт гороха Атаман, который при полном отсутствии осадков в период плодо и семяобразование сумел максимально сформировать свою продуктивность, используя запасы продуктивной влаги накопленные ранее.

В 2020 году, наоборот, первая половина вегетации гороха протекала при неблагоприятных показателях влагообеспеченности, в марте выпало 3,7, в апреле 16,0 мм осадков. У всех сортов были отмечены самые низкие показатели полевой всхожести, а отсюда и меньшее количество растений на м². Была сформирована небольшая вегетативная масса и высота травостоя. В генеративный период выпало значительное количество осадков, что положительно сказалось на продуктивности сортов гороха. Максимальная урожайность была сформирована сортами гороха Атаман - 235,8 и Сотник - 241,7 г/м².

В среднем за годы исследований всеми изучаемыми сортами гороха была получена достоверная прибавка относительно контроля. Следует выделить наиболее продуктивные сорта Атаман и Сотник, которые в разные по погодным условиям годы смогли максимально реализовать свой биологический потенциал. Но даже они недостаточно стрессоустойчивы, так как в благоприятные годы исследований их урожайность значительно превышает в 1,6-1,7 раз показатели неблагоприятных лет.

Заключение

В ходе изучения нами были выделены два сорта гороха Атаман и Сотник более устойчивые к полеганию и формирующие максимальную урожайность, представляющие интерес для товаропроизводителей и дальнейшей селекционной работы по выведению новых сортов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Агафонов Е.В. Почвы и удобрения в Ростовской области: учебное пособие / Е.В. Агафонов, Е.В. Полуэктов. Изд. 2-е, доп. - Персиановка: Дон ГАУ, 1999. - 90 с.
- Алабушев В.А. Растениеводство: учебное пособие / под ред. В.А. Алабушева. Ростов - на-Дону; Издательский центр «Март», 2001 - 384 с.
- Амелин А.В. Адаптивные особенности растений гороха и их изменения в результате селекции / А.В. Амелин, Е.И. Чекалин // Зернобобовые и крупяные культуры - 2019. - 2(30). - С.4-14.
- Амелин А.В. Биологический потенциал гороха и его реализация на разных этапах развития культуры / А.В. Амелин // Селекция и семеноводство. – 1999. - № 2-3. - С. 15-21.
- Амелин А.В. Физиологические основы селекции гороха / А.В. Амелин // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2012. - № 1 - С. 46-52.
- Дедов А.В. Приемы биологизации и воспроизводство плодородия черноземов / А.В. Дедов, М.А. Несмеянова, Н.Н. Хрюкин // Земледелие. - 2012. - № 6. - С. 4-7.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
- Зотиков В.И. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации / В.И. Зотиков, В.С. Сидоренко, Н.В. Грядунцова // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2018. - №2 (26). - С. 4-10. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008.
- Котляр И.П. Повышение устойчивости гороха овощного к полеганию /И.П. Котляр, Н.А. Шмыкова // Зернобобовые и крупяные культуры - 2014. - №4 (12). - С. 79-83.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. - М., 1985- Вып. 1. - 269 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Agafonov, E.V. Pochvy i udobrenija v Rostovskoj oblasti [Soils and fertilizers in the Rostov region]: textbook / E.V. Agafonov, E.V. Poluectov. Ed. 2-th extra - Persianovka: Don GAU, 1999. - 90 p. [in Russian]
2. Alabushev V.A. Rastenievodstvo [Plant breeding] : textbook / ed. by V.A. Alabushev. Rostov-on-Don, Publishing Center "March", 2001 -384 p. [in Russian]
3. Amelin A.V. Adaptivnye osobennosti rastenij goroha i ih izmenenija v rezul'tate selekcii [Adaptive features of pea plants and their changes as a result of breeding] / A.V. Amelin, E.I. Chekalin // Zernobobovye i krupjanye kul'tury [Grain legumes and cereal crops]. -2019. - 2(30). - P. 4-14. [in Russian]
4. Amelin A.V. Biologicheskij potencial goroha i ego realizacija na raznyh jetapah razvitija kul'tury [Biological potential of pea and its realization at different stages of crop development] / A.V. Amelin // Selekcija i semenovodstvo [Breeding and seed production]. - 1999. - № 2-3. - P. 15-21. [in Russian]
5. Amelin A.V. Fiziologicheskie osnovy selekcii goroha [Physiological basis for breeding peas] / A.V. Amelin // Zernobobovye i krupjanye kul'tury [Grain legumes and cereal crops]. - 2012. - № 1 - P. 46-52. [in Russian]
6. Dedov, A.V. Priemy biologizacii i vosproizvodstvo plodorodija chernozemov [Methods of biologicalization and reproduction of chernozem fertility] / A.V. Dedov, M.A. Nesmeyanova, N.N. Khrukin // Zemledelie [Farming]. - 2012. - № 6. - P. 4-7. [in Russian]
7. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. 5-th edition updated and revised. - Moscow: Agropromizdat, 1985. - 351 p. [in Russian]
8. Zotikov V.I. Razvitie proizvodstva zernobobovyh kul'tur v Rossijskoj Federacii [Development of grain legume crops production in the Russian Federation] / V.I. Zotikov, V.S. Sidorenko, N.V. Gryadunova // Zernobobovye i krupjanye kul'tury [Grain legumes and cereals]. - 2018. - №2 (26). - P. 4-10. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008. [in Russian]
9. Kotlyar I.P. Povyshenie ustojchivosti goroha ovoshhnogo k poleganiju [Increasing the resistance of vegetable peas to pole planting] / I.P. Kotlyar, N.A. Shmykova // Zernobobovye i krupjanye kul'tury [Grain legumes and cereal crops]. - 2014. - №4 (12). - P. 79-83. [in Russian]
10. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skoho-zajstvennyh kul'tur [Methods of State Variety Testing of Agricultural Crops]. - M., 1985. - Issue. 1. - 269 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.020>

АМИНОКИСЛОТНЫЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ МОРКОВИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОСТИМУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ МИКРООРГАНИЗМОВ

Научная статья

Замана С.П.^{1,*}, Кондратьева Т.Д.², Федоровский Т.Г.³, Соколов С.А.⁴

¹ ORCID 0000-0001-7927-364X;

³ ORCID 0000-0001-7439-3212;

⁴ ORCID 0000-0002-3950-2273;

^{1, 2, 3, 4} Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

* Копирующий автор (svetlana.zamana[at]gmail.com)

Аннотация

При выращивании моркови применяли биостимуляторы, содержащие бактерии *Azotobacter chroococum*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* и гриб *Trichoderma harzianum*. Определение 17 аминокислот в моркови показало, что сумма незаменимых аминокислот в варианте с биостимуляторами была на 46,3% выше, чем в контрольном варианте. При этом увеличилось содержание 11 аминокислот: аспарагиновой кислоты, серина, пролина, валина, изолейцина, лейцина, тирозина, фенилаланина, гистидина, лизина, аргинина. В опытном варианте увеличилось содержание практически всех определяемых жизненно-важных макроэлементов (фосфора, кальция, магния) и микроэлементов (железа, цинка, кремния, марганца, меди, хрома, никеля, ванадия, йода, кобальта).

Ключевые слова: биостимуляторы, морковь, микроорганизмы, аминокислоты, макро- и микроэлементы.

ON THE AMINO ACID AND ELEMENT COMPOSITION OF CARROTS WHEN USING MICROORGANISM-BASED BIOSTIMULANTS

Research article

Zamana S.P.^{1,*}, Kondratyeva T.D.², Fedorovsky T.G.³, Sokolov S.A.⁴

¹ ORCID 0000-0001-7927-364X;

³ ORCID 0000-0001-7439-3212;

⁴ ORCID 0000-0002-3950-2273;

^{1, 2, 3, 4} State University of Land Management, Moscow, Russia

* Corresponding author (svetlana.zamana[at]gmail.com)

Abstract

When growing carrots, the current study applies biostimulants containing the bacteria *Azotobacter chroococum*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* and the fungus *Trichoderma harzianum*. The identification of 17 amino acids in carrots showed that the amount of essential amino acids in the variant with biostimulants was 46.3% higher than in the control variant. At the same time, the study also showed an increase in the content of the following 11 amino acids: aspartic acid, serine, proline, valine, isoleucine, leucine, tyrosine, phenylalanine, histidine, lysine, arginine. The experimental version showed an increase in the content of almost all detectable vital macronutrients (phosphorus, calcium, magnesium) and trace elements (iron, zinc, silicon, manganese, copper, chromium, nickel, vanadium, iodine, cobalt).

Keywords: biostimulants, carrots, microorganisms, amino acids, macro- and microelements.

Введение

Недостаток белка и жизненно-важных химических элементов в рационе человека нарушает нормальную жизнедеятельность организма и приводит к серьезным отрицательным последствиям. Поэтому производство продукции с оптимальным содержанием растительного белка и необходимых макро- и микроэлементов – важная задача сельского хозяйства.

Морковь - наиболее распространенная и важнейшая овощная культура с высоким содержанием необходимых для человека витаминов (В, РР, С, Е, К), каротина, сахара, жизненно-важных макро- и микроэлементов (Са, Р, К, Mg, Fe, Со, Cu, Zn, Cr, F, Ni и др.). Корнеплоды моркови содержат аминокислоты - лизин, гистидин, цистеин, аспарагин, серин, треонин, пролин, метионин, тирозин, лейцин и др., входящие в состав белка, хотя в моркови относительно невысокое его содержание.

Биостимуляторы растений — это любое вещество или микроорганизмы, вносимые в небольших количествах с целью повышения эффективности питания растений, устойчивости их к стрессам и для улучшения качества выращиваемых сельскохозяйственных культур. Слово биостимулятор впервые было предложено Kauffman et al. [1]. В последующие годы это слово все чаще использовалось, расширяя диапазон веществ [2]. Биостимуляторы, доступные на рынке, включают бактерии, грибы, водоросли, высшие растения, животное и гуматсодержащее сырье.

Бактерии взаимодействуют с растениями всеми возможными способами [3]. Ризобактерии, способствующие росту растений, многофункциональны и влияют на все аспекты жизни растений: питание и рост, морфогенез и развитие, реакцию на биотический и абиотический стресс, взаимодействие с другими организмами в агроэкосистемах [4], [5].

Микоризные грибы устанавливают симбиоз более чем с 90% всех видов растений. Арбускулярно-микоризные грибы являются широко распространенным видом эндомикоризы [6], [7]. Растет интерес к использованию микоризных грибов в питании растений (для обеспечения как макроэлементами, особенно фосфором, так и микроэлементами), для создания благоприятного водного баланса, защиты растений от биотических и абиотических стрессов [8], [9]. Сеть гифов может соединять не только грибковых и растительных партнеров, но также и отдельные растения в растительном сообществе [10], [11]. Многие ученые [12], [13] отмечают, что использование непатогенных почвенных бактерий, живущих на корнях растений, является очень перспективным направлением и открывает значительные возможности

для сельского хозяйства, особенно для органического земледелия. Бактерии, принадлежащие к роду *Bacillus*, и особенно штаммы *Bac. subtilis*, эффективны для биологической борьбы со многими болезнями растений, вызываемыми почвенными патогенами [14]. Роль грибов - антагонистов фитопатогенов из рода *Trichoderma* в настоящее время общезвестна.

Целью нашего исследования являлась оценка влияния биостимуляторов, содержащих полезные микроорганизмы, на содержание аминокислот и жизненно-важных макро- и микроэлементов в корнеплодах моркови, выращенной на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Московской области.

Методы и принципы исследований

В состав исследуемого нами препарата входят: азотфиксирующая бактерия *Azotobacter chroococcum*, антагонисты фитопатогенов - гриб *Trichoderma harzianum* и бактерия *Bacillus subtilis*, бактерия - иммуномодулятор *Bacillus megaterium*. Кроме вытеснения фитопатогенов в ризосфере корней растений, спорообразующая бактерия *Bacillus subtilis* обладает высокой ферментативной активностью и разлагает различные органические вещества в почве. Бактерия *Bacillus megaterium* стимулирует естественные защитные реакции растений и индуцирует их иммунитет, она регулирует поступление питательных элементов из почвы в растения. Гриб *Trichoderma harzianum* - эффективный биоагент для борьбы с корневыми гнилями сельскохозяйственных культур, он подавляет развитие возбудителей многих болезней растений. Кроме полезных микроорганизмов, в состав препарата входит органо - минеральный носитель.

Опыт проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Московской области. Схемой опыта предусматривалось два варианта:

- 1) контроль,
- 2) биостимуляторы.

На делянках размером 50 м² высевали морковь сорта «Витаминная 6», повторность была 4-кратная. Препарат вносили 2 раза в период вегетации с интервалом внесения в 1 месяц. Его предварительно растворяли в воде из расчета 10 г препарата на делянку и поливали растения с последующим рыхлением почвы.

Используемый в опыте сорт моркови является скороспелым сортом (от всходов до уборки урожая 80-100 дней). Корнеплод цилиндрический, тупоконечный, длиной более 15 см, массой 100-165 г. Сорт обладает высокими вкусовыми качествами и хорошей лежкостью.

Аминокислотный состав моркови определяли методом капиллярного электрофореза на анализаторе «Капель - 105 М». Элементный состав определяли с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) на масс-спектрометре Nexion 300 D (Perkin Elmer, США).

Основные результаты

Проводилось исследование по оценке влияния биостимуляторов на основе полезных микроорганизмов на аминокислотный и элементный состав корнеплодов моркови. Незаменимыми для большинства животных и человека аминокислотами являются валин, изолейцин, лейцин, треонин, метионин, лизин, фенилаланин, триптофан, аргинин, гистидин, а заменимыми - глицин, аланин, пролин, серин, цистеин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, тирозин.

Результаты определения содержания 17 аминокислот в корнеплодах моркови представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, сумма незаменимых аминокислот в варианте с препаратом была на 46,3% выше, чем в контрольном варианте, и составляла 5,12 г/кг сух. в-ва, в то время как в контрольном – 3,50 г/кг сух. в-ва. В опытном варианте незаменимые аминокислоты составляли 26,85% от суммы определяемых аминокислот, а в контрольном – 19,15%; сырой протеин – 8,82% (в опытном варианте) и 8,67% - в контрольном.

При применении препарата, содержащего полезные микроорганизмы, увеличилось среднее содержание 11 аминокислот: аспарагиновой кислоты (с 3,73 до 4,12 г/кг сух. в-ва), серина (с 0,93 до 1,08 г/кг сух. в-ва), пролина (с 0,03 до 0,04 г/кг сух. в-ва), валина (с 0,003 до 0,046 г/кг сух. в-ва), изолейцина (с 0,02 до 0,67 г/кг сух. в-ва), лейцина (с 0,75 до 0,82 г/кг сух. в-ва), тирозина (с 0,55 до 0,64 г/кг сух. в-ва), фенилаланина (с 0,62 до 0,72 г/кг сух. в-ва), гистидина (с 0,42 до 0,52 г/кг сух. в-ва), лизина (с 0,02 до 0,69 г/кг сух. в-ва), аргинина (с 0,05 до 1,00 г/кг сух. в-ва). Под воздействием вносимых полезных бактерий и грибов во много раз возросло накопление в корнеплодах моркови таких незаменимых аминокислот, как валин (в 16,7 раза), аргинин (в 20 раз), изолейцин (в 33,5 раза), лизин (в 34,5 раза). Валин является важной аминокислотой, с которой связан нормальный обмен веществ в тканях мышц головного мозга, он участвует в организме в процессах регенерации.

Таблица 1 – Результаты определения аминокислотного состава корнеплодов моркови

Показатели	Контроль, г/кг сухого вещества	Биопрепараты, г/кг сухого вещества
аспарагиновая кислота	3,73 ± 0,35	4,12 ± 0,39
треонин	0,67 ± 0,06	0,36 ± 0,03
серин	0,93 ± 0,08	1,08 ± 0,10
глутаминовая кислота	6,90 ± 0,61	5,96 ± 0,50
пролин	0,03 ± 0,002	0,04 ± 0,00
глицин	0,51 ± 0,04	0,46 ± 0,04
аланин	2,12 ± 0,19	1,66 ± 0,16
цистин	0,69 ± 0,060	0,03 ± 0,00
валин	0,003 ± 0,000	0,046 ± 0,003
изолейцин	0,02 ± 0,00	0,67 ± 0,06
лейцин	0,75 ± 0,07	0,82 ± 0,08

Окончание таблицы 1 – Результаты определения аминокислотного состава корнеплодов моркови

Показатели	Контроль, г/кг сухого вещества	Биопрепараты, г/кг сухого вещества
тирозин	0,55 ± 0,05	0,64 ± 0,06
фенилаланин	0,62 ± 0,06	0,72 ± 0,06
гистидин	0,42 ± 0,04	0,52 ± 0,05
лизин	0,02 ± 0,00	0,69 ± 0,05
аргинин	0,05 ± 0,00	1,00 ± 0,09
триптофан	0,25 ± 0,02	0,25 ± 0,02
сумма аминокислот	18,27 ± 1,76	19,07 ± 1,68
в т.ч. незаменимых	3,50 ± 0,30	5,12 ± 0,50

Изолейцин обладает иммуностимулирующими свойствами, это важный компонент синтеза гормонов и ферментов, он способствует набору мышечной массы. Лизин необходим для синтеза важнейших белков организма – нуклеопротеидов. Отсутствие данной аминокислоты в организме задерживает образование соединительных тканей. Аргинин в организме превращается в оксид азота, который влияет на многие жизненные процессы. Аргинин укрепляет иммунитет, улучшает кровообращение, ускоряет регенерацию тканей, стимулирует сжигание жира и др. Из заменимых аминокислот несколько увеличилось в корнеплодах моркови из опытного варианта содержание аспарагиновой кислоты (в 1,1 раза), серина и тирозина (в 1,2 раза). Содержание треонина, глицина, аланина, цистина, триптофана и глутаминовой кислоты в опытном варианте уменьшилось по сравнению с контрольным вариантом.

Результаты определения содержания 15 жизненно-важных макро- и микроэлементов в корнеплодах моркови представлены в таблице 2. Необходимые живым организмам химические элементы делятся на макроэлементы (азот, сера, калий, кальций, фосфор, натрий, магний) и микроэлементы (железо, йод, медь, марганец, цинк, кобальт, молибден, селен, ванадий, никель, хром, кремний).

В корнеплодах моркови, выращенной нами с применением биостимуляторов, по сравнению с контрольным вариантом, среднее содержание фосфора увеличилось с 4130 до 6800 мг/кг сух. в-ва, магния – с 789 до 1055 мг/кг сух. в-ва, кальция – с 1960 до 2080 мг/кг сух. в-ва, а содержание калия уменьшилось с 35000 до 34600 мг/кг сух. в-ва.

Под воздействием биостимуляторов в корнеплодах моркови увеличивалось содержание практически всех определяемых жизненно-важных микроэлементов: железа в 1,12 раза, цинка – в 1,81 раза, кремния – в 1,19 раза, марганца – в 1,21 раза, меди – в 1,55 раза, хрома – в 1,35 раза, никеля – в 1,34 раза, ванадия – в 2,2 раза, йода – в 1,25 раза, кобальта – в 2 раза.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в корнеплодах моркови

Элементы	Среднее содержание в вариантах опыта, мг/кг сух. в-ва	
	Контроль	Биопрепараты
калий	35000 ± 3450	34600 ± 3480
фосфор	4130 ± 411	6800 ± 678
кальций	1960 ± 189	2080 ± 210
магний	789 ± 80	1055 ± 106
железо	48,99 ± 4,78	55,30 ± 5,6
цинк	18,21 ± 1,79	33,05 ± 3,28
кремний	24,16 ± 2,35	28,80 ± 2,76
марганец	10,80 ± 1,10	13,10 ± 1,28
медь	3,85 ± 0,37	5,96 ± 0,53
хром	0,95 ± 0,08	1,28 ± 0,11
никель	0,65 ± 0,07	0,87 ± 0,09
ванадий	0,05 ± 0,004	0,11 ± 0,01
йод	0,04 ± 0,003	0,05 ± 0,004
кобальт	0,01 ± 0,001	0,02 ± 0,002
селен	0,004 ± 0,000	0,004 ± 0,000

Средний урожай моркови из опытных делянок (8 кг/м²) был на 14% выше, чем из контрольных делянок (7 кг/м²).

Заключение

Внесение биостимуляторов, содержащих непатогенные микроорганизмы *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* и *Trichoderma harzianum*, способствовало увеличению содержания в моркови одиннадцати аминокислот - серина, пролина, валина, изолейцина, лейцина, тирозина, фенилаланина, гистидина, лизина, аргинина и аспарагиновой кислоты, семь из которых являются незаменимыми, а также увеличению содержания жизненно-важных макроэлементов (фосфора, кальция, магния) и микроэлементов (железа, цинка, кремния, марганца, меди, хрома, никеля, ванадия, йода, кобальта).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Kauffman G. L. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass / G. L. Kauffman, D. P. Kneivel, T. L. Watschke // *Crop Sci.*, 47, 261–267. DOI: 10.2135/cropsci2006.03.0171.
2. Halpern M. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake / M. Halpern, A. Bar-Tal, M. Ofek; D.L. Sparks (Ed.). // *Advances in Agronomy*, 129, 141-174.
3. Ahmad J. Hayat Plant-Bacteria Interactions. Strategies and Techniques to Promote Plant Growth / J. Ahmad, S. Pichtel. WILEY-VCH Verlag GmbH and Co., KGaA, Weinheim
4. Babalola O.O. Beneficial bacteria of agricultural importance / O.O. Babalola // *Biotechnol. Lett.*, 32, 1559-1570.
5. Berendsen R.L. The rhizosphere microbiome and plant health / R.L. Berendsen, C.M. Pieterse, P.A. Bakker // *Trends Plant Sci.*, 17, 1360-1385.
6. Bonfante P. Interactions in mycorrhizal symbiosis / P. Bonfante, A. Genre // *Nat. Commun.*, 1, 1-11.
7. Behie S.W. Nutrient transfer in plant-fungal symbioses Trends / S.W. Behie, M.J. Bidochka // *Plant Sci.*, 19, 734-740.
8. Augé R.M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis / R.M. Augé // *Mycorrhiza*, 11, 3-42.
9. Harrier L.A. The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems / L.A. Harrier, C.A. Watson // *Pest Manage. Sci.*, 60, 149-157.
10. Simard S.W. Mycorrhizal networks: mechanisms, ecology and modelling / S.W. Simard, K.J. Beiler, M.A. Bingham et al. // *Fungal. Biol. Rev.*, 26, 39-60.
11. Johnson D. Interplant signalling through hyphal networks / D. Johnson, L. Gilbert // *New Phytol.*, 205, 1448-1453.
12. Handelsman J. Biocontrol of soilborne plantpatogens / J. Handelsman, E. V. Stabb // *Plant Cell.*, 8, 1855-1869.
13. Whipps J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere / J. M. Whipps // *J. Exp. Bot.*, 52, 487-511.
14. Asaka O. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off of tomato with *Bacillus subtilis* RB14 / O. Asaka, M. Shoda // *Appl. Environ. Microbiol.*, 62, 4081-4085.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.021>

ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ПЕРЕЗИМОВКУ И ГУСТОТУ СТЕБЛЕСТОЯ ЭСПАРЦЕТА

Научная статья

Земляничина С.В.*

ORCID: 0000-0002-4581-5268,

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Волгоград, Россия

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

Аннотация

В статье представлены результаты исследований влияния микробиологических препаратов на перезимовку и плотность посевов эспарцета песчаного. Установлено, что инокуляция семян бактериальными препаратами ризоторфин Б и гумариз оказала влияние на зимостойкость эспарцета песчаного. Процент сохранившихся после перезимовки растений второго года жизни в среднем по годам опыта составил 85,4 на контрольных вариантах, 86,7-88,7 – на вариантах с инокуляцией, третьего года жизни – 71,6 и 73,8-75,5 соответственно. Различные агрохимические фоны оказали значительное влияние на сохранность эспарцета после перезимовки. Лучшие показатели зимостойкости растений эспарцета отмечались на варианте с внесением сидератов – 75,7-90,6 % при 69,4-77,4% на контроле. В среднем по вариантам зимостойкость растений во второй год жизни составила 86,9, в третий – 73,6%.

Максимальное количество побегов на эспарцете на всех вариантах формировалось во втором укосе второго года жизни – до 270 шт/м² на вариантах без инокуляции и до 310 шт/м² при обработке микробиологическими препаратами. Внесение минеральных и органических удобрений увеличило густоту стояния по сравнению с контролем на 26,6-49,7 %.

Ключевые слова: эспарцет, инокуляция, плотность травостоя, перезимовка, ризоторфин, гумариз.

ON THE EFFECT OF MICROBIOLOGICAL PREPARATIONS ON OVERWINTERING AND THE DENSITY OF THE SAINFOIN PLANT STAND

Research article

Zemlyanitsyna S.V.*

ORCID: 0000-0002-4581-5268,

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

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

Abstract

The article presents the results of studies of the effect of microbiological preparations on overwintering and the density of the *Onobrychis arenaria* crops. The author establishes that inoculation of seeds with bacterial preparations rizotorfin B and gumariz had an effect on the winter hardiness of the plant. The percentage of the plants preserved after overwintering in the second year of life averaged 85.4 in the control variants, 86.7-88.7 in the inoculated variants, 71.6 and 73.8-75.5 in the third year of life, respectively. Various agrochemical backgrounds had a significant impact on the safety of the plant after overwintering. The best indicators of winter hardiness of the plants were noted on the variant with the introduction of green manure crop - 75.7-90.6% with 69.4-77.4% in the case of the control variant. On average, according to the variants, the winter hardiness of plants on the second year of life was 86.9%, while on the third year it amounted to 73.6%.

The maximum number of shoots on all variants was formed in the second mowing of the second year of life – up to 270 pcs/m² on variants without inoculation and up to 310 pcs/m² when treated with microbiological preparations. The application of mineral and organic fertilizers increased the degree of density compared to the control variants by 26.6-49.7%.

Keywords: sainfoin, inoculation, herbage density, overwintering, rizotorfin, gumariz.

Введение

Возделывание многолетних бобовых трав имеет важное значение для земледелия, так как это наиболее доступный и дешевый способ получения высококачественных кормов и сохранения почвенного плодородия [1], [3]. Исследованиями ряда ученых подтверждается, что среди многолетних бобовых трав наряду с люцерной высокие показатели по продуктивности имеет эспарцет [5], [6]. При оптимальных условиях эспарцет формирует до 70 т/га зеленой массы за вегетацию, с содержанием 120-130 г переваримого протеина в 1 кг. В связи с этим исследования технологии возделывания, обеспечивающей получение запланированных урожаев этой ценной кормовой культуры на орошаемых землях, являются достаточно актуальными. Предпосевная инокуляция семян способствует формированию симбиотического аппарата на корнях растений эспарцета, что обеспечивает дополнительное снабжение растения азотом [2], [4].

Ризоторфин Б и гумариз являются препаратами высокоэффективных клубеньковых бактерий, выращенных на питательной среде с добавлением микроэлементов и витаминов. Исследованиями, проводимыми с бактериальными препаратами и многолетними бобовыми травами установлено, что предпосевная инокуляция семян оказывала влияние не только непосредственно на процессы симбиотической активности, но и на рост растений, количество междоузлий, облиственность растений, увеличение доли биологического азота в урожае и др. [7], [8], [9], [10].

Методы и принципы исследования

Целью исследования является оценка влияния различных агрохимических фонов и предпосевной обработки семян эспарцета микробиологическими препаратами (ризоторфин Б и гумариз) на зимостойкость и густоту стеблестоя

эспарцета песчаного при возделывании на зеленый корм на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья в условиях орошения.

Полевой опыт проводился в ОПХ «Орошаемое» Городищенского района Волгоградской области в 2015-2019 гг. Первый фактор включал вариант без обработки, а также варианты с обработкой ризоторфином Б и гумаризом; второй – различные варианты агрохимических фонов: контроль (без внесения удобрений); $N_{30}P_{90}K_{70} + N_{100}$ (в подкормку); сидерат (вико-овсяная смесь) 20 т/га + P_{30} ; солома ячменя 6 т/га + N_{60} ; навоз КРС 60 т/га). Дозу внесения удобрений рассчитывали по выносу питательных веществ под планируемую урожайность [11]. Основная обработка почвы включала вспашку на глубину 0,27-0,30 м с предварительным лушением стерни. Предпосевная обработка почвы состояла из покровного боронования и предпосевной культивации. Эспарцет песчаный сорт Песчаный 1251 высевали под покров овса. Норма высева: покровная культура – 140 кг/га, эспарцет – 100-120 кг/га. Глубина заделки семян покровной культуры – 0,06 м, эспарцета – 0,04 м. Уход за посевами заключался в своевременном скашивании покровной культуры, поддержании предпосевного порога влажности почвы не ниже 70 % НВ. Удобрения вносили осенью под основную обработку.

Основные результаты и обсуждение

Во время перезимовки многолетние травы довольно длительный период времени подвержены воздействию постоянно меняющихся погодных факторов. Главной причиной изреживания трав в наших почвенно-климатических условиях является их вымерзание из-за низких температур и ледяных корок, образующихся во время оттепелей. На зимостойкость также оказывает влияние возраст, в котором травы уходят в зиму, а также срок посева и сроки скашивания. При несоблюдении оптимального срока проведения последнего укоса уже на втором году жизни культуры травостой сильно изреживаются.

В отличие от других многолетних бобовых трав, эспарцет отличается высокой зимостойкостью. На перезимовку растений эспарцета, процесс возобновления их развития и продуктивность большое влияние оказывает состояние растений перед уходом в зиму и условия перезимовки.

Погодные условия в период проведения полевых опытов были относительно благоприятными для перезимовки эспарцета песчаного. В 2015-2016 гг. температура ноября-марта превышала среднееголетние показатели на 1,8-8,7 °С. Усиление морозов в первой и третьей декадах января при наличии снежного покрова не оказало негативного воздействия на посевы эспарцета. В ноябре-декабре 2016-2017 гг. температура в ночные часы снижалась до -23,5 °С, среднемесячные температуры соответственно на 0,4 и 1,6 °С ниже среднееголетних. В январе-марте среднесуточные температуры воздуха были выше среднееголетних на 3,3-6,8 °С. Зимы 2017-2019 гг. были близки по метеорологическим показателям к среднееголетним значениям.

В наших опытах эспарцет проявил высокую зимостойкость (см. рисунок 1). Так, процент сохранившихся растений второго года жизни после перезимовки в среднем по годам опыта составил 85,4 на контрольных вариантах, 88,7 – на вариантах с использованием ризоторфина Б и 86,7 – на вариантах с обработкой гумаризом. В третий год жизни после перезимовки сохранилось 71,7 % растений на контроле, при обработке ризоторфином Б – 75,5, гумаризом – 74,0 %.

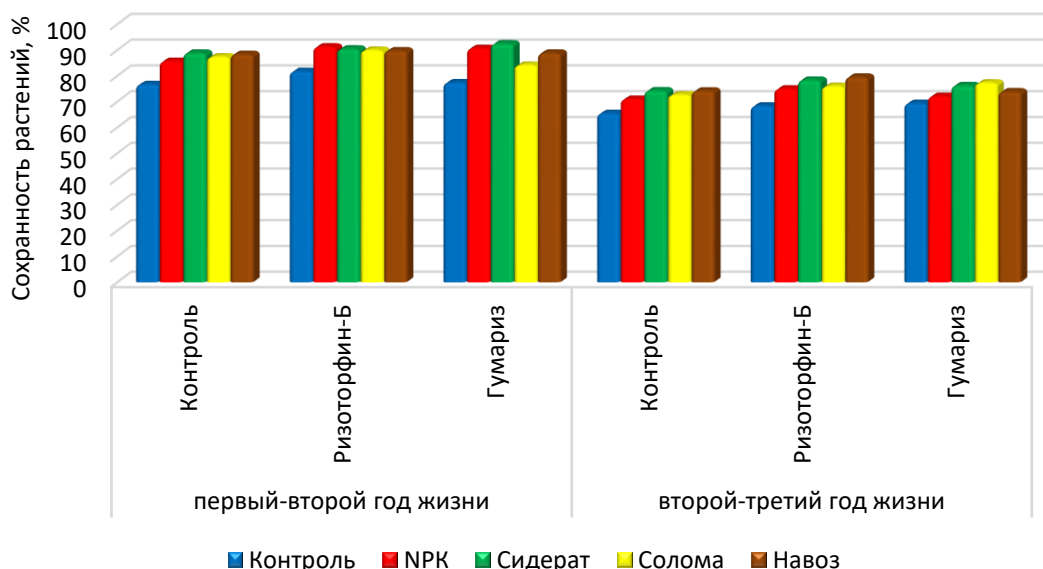


Рис. 1 – Зимостойкость растений эспарцета песчаного по годам жизни, среднее за 2015-2019 гг.

Различные агрохимические фоны оказали значительное влияние на зимостойкость эспарцета. Лучшие показатели зимостойкости растений эспарцета отмечались на варианте с внесением сидератов – 90,6 % во второй год жизни и 75,7 % в третий, при 77,4 на контроле во второй год жизни и 69,4 % в третий. На варианте с внесением минеральных удобрений процент выживших растений после перезимовки составил 89,2 во второй год и 73,9 в третий год. На варианте с внесением соломы – 87,2 и 75,7; на навозе – 89,0 и 75,6 % соответственно.

В среднем по вариантам зимостойкость растений во второй год жизни составила 86,9, в третий – 73,7 %. Таким образом, изреживание растений эспарцета после перезимовки к третьему году жизни на 15 % выше по сравнению со вторым годом жизни.

У эспарцета отрастание после перезимовки идет в основном за счет почек и побегов подземной части зоны кушения, которые формируются в летне-осенний период. Для роста и развития почки и отрастающие побеги используют запасные, накопившиеся в период вегетации пластические вещества, неизрасходованные в зимний период.

Возраст растения и условия выращивания оказывают влияние на его морфологическую структуру. Изменения проявляются степенью развития, скоростью роста побегов и их количеством. Это очень важно для создания высокоурожайных травостоев, так как продуктивность, в основном, определяется вегетативным возобновлением растений. В нашем опыте особенности побегообразования в посевах различались в зависимости от элементов технологии возделывания.

Максимальное количество побегов на эспарцете на всех вариантах формировалось во второй год жизни – до 270 шт/м² на вариантах без инокуляции и до 310 шт/м² при обработке микробиологическими препаратами (см. таблицу 2). Внесение минеральных и органических удобрений увеличило густоту стояния по сравнению с контролем на 26,6-49,7 %.

Таблица 2 – Плотность стеблестоя эспарцета песчаного по годам жизни, среднее по годам опыта 2016-2019 гг.

Удобрения (фактор А)	Микробиологические препараты (фактор В)	Плотность стеблестоя, шт/м ² , среднее за вегетацию	
		2 год жизни	3 год жизни
Контроль (без удобрений)	контроль	186,7	152,7
	ризоторфин-Б	235,7	194,7
	гумариз	221,3	183,3
N ₃₀ P ₉₀ K ₇₀ + N ₁₀₀ (в подкормку)	контроль	266,7	220,7
	ризоторфин-Б	310,8	257,7
	гумариз	285,3	242,7
Сидерат 20 т/га + P ₃₀	контроль	258,3	228,7
	ризоторфин-Б	306,7	269,3
	гумариз	298,0	258,0
Солома 6 т/га + N ₆₀	контроль	250,3	221,3
	ризоторфин-Б	298,3	264,3
	гумариз	292,0	254,3
Навоз 60 т/га	контроль	271,3	226,7
	ризоторфин-Б	313,0	271,7
	гумариз	294,7	252,0
НСР ₀₅	А	4,0-3,8	9,4-10,0
	В	5,8-6,2	2,3-2,7
	АВ	2,2-3,4	2,0-2,4

При исследовании изреживания посевов второго и третьего годов жизни отмечалось, что на вариантах, где была проведена инокуляция семян, процент увеличения побегов во втором укосе и процент изреживания в третьем укосе были выше, чем на необработанных вариантах.

Заключение

Обработка семян эспарцета бактериальными препаратами в условиях орошения в Нижнем Поволжье является эффективным приемом не только повышения симбиотической азотфиксации, но и увеличения зимостойкости. Зимостойкость растений второго года жизни в среднем по годам опыта составила 85,4 % на контрольных вариантах, 88,7 – на вариантах с использованием ризоторфина Б и 86,7 % – на вариантах с обработкой гумаризом. В третий год жизни на контроле после перезимовки сохранилось 71,6 % растений, при обработке ризоторфином Б – 75,5, гумаризом – 73,8 %. Максимальное количество побегов на эспарцете на всех вариантах формировалось во второй год жизни, обработка микробиологическими препаратами повысило густоту стеблестоя на 16,2-27,8 %. Внесение минеральных и органических удобрений увеличило густоту стояния по сравнению с контролем на 26,6-49,7 %. Микробиологические препараты, являясь безопасными для окружающей среды, способствуют повышению эффективности симбиотической деятельности и устойчивости растений к патогенам.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Асаева Т. Д. Экологическая роль эспарцета / Т. Д. Асаева // Перспективы развития АПК в современных условиях: материалы 6-й научно-практической конференции 07–08 апреля 2016 г., Владикавказ. – Владикавказ, 2016. – С. 35-36.
2. Бекузарова С. А. Формирование агроценоза эспарцета в зависимости от стимуляторов роста / С. А. Бекузарова, В. И. Гасиев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51. – № 4. – С. 43-47.
3. Волошин В. А. Эспарцет песчаный в Пермском крае / В. А. Волошин // Пермский аграрный вестник. – 2013. – № 4 (4). – С. 8-11.

4. Гамидов И. Р. Некоторые элементы технологии возделывания эспарцета песчаного в условиях Северо-Западного Прикаспия / И. Р. Гамидов, К. М. Ибрагимов, М. М. Умаханов, С. А. Теймуров // Горное сельское хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 36-39.
5. Дронова Т. Н. Влияние микробиологических препаратов на симбиотическую деятельность и продуктивность многолетних бобовых трав / Т. Н. Дронова, Н. И. Бурцева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – №2 (50). – С. 44-51.
6. Дронова Т. Н. Перспективы возделывания козлятника восточного на орошаемых землях Нижнего Поволжья / Т. Н. Дронова, Н. И. Бурцева, Е. И. Молоканцева // Горное сельское хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 26-29.
7. Дронова Т. Н. Симбиотическая деятельность и продуктивность многолетних бобовых трав при использовании микробиологических препаратов / Т. Н. Дронова, Н. И. Бурцева, Д. К. Кулик // Плодородие. – 2018. – № 5 (104). – С. 61-63.
8. Капустин Н. И. Влияние микроудобрения "Аквამикс-т" и ризоторфина на продуктивность козлятника восточного / Н. И. Капустин, А. Н. Налиухин, А. Г. Ладухин и др. // Агрохимический вестник. – 2007. – № 3. – С. 14-16.
9. Кшникаткин С. А. Агроэкологическая эффективность инокуляции семян бактериальными препаратами и комплексными микроэлементами удобрениями в ресурсосберегающей технологии возделывания клевера паннонского / С. А. Кшникаткин, Н. А. Карпов // Нива Поволжья. – 2020. – №2(55). – С. 28-33.
10. Сабанова А. А. Влияние ризоторфина на рост, развитие и продуктивность клевера лугового / А. А. Сабанова, А. Т. Фарниев // Сурский вестник. – 2019. – № 3 (7). – С. 43-46.
11. Шлапунов В. Н. Урожайность эспарцета песчаного в зависимости от применения биологических препаратов для инокуляции семян и микроэлементов / В. Н. Шлапунов, О. Н. Карпей // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2011. – № 47. – С. 119-124.
11. Филин В. И. Физико-химические методы анализа в агрохимии. Учебное пособие / В. И. Филин, М. С. Никулин, А. Н. Грошев, А. М. Стрюков. – Волгоград: ВолГАУ, 2013. – 256 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Asaeva T. D. Jekologicheskaja rol' jsainfoina [The Environmental Role of Sainfoin] / T. D. Asaeva // Perspektivy razvitija APK v sovremennyh uslovijah: materialy 6-j nauchno-prakticheskoj konferencii 07–08 aprelya 2016 g. [Prospects of agro-industrial complex development in modern conditions: materials of the 6th scientific and practical conference on April 07-08, 2016, Vladikavkaz]. – Vladikavkaz, 2016. – P. 35-36 [in Russian].
2. Bekuzarova, S. A. Formirovanie agrocenoza jsainfoina v zavisimosti ot stimulyatorov rosta [Formation of sainfoin agrocenosis depending on growth stimulants] / S. A. Bekuzarova, V. I. Gasiev // Izvestija Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of Gorsky State Agrarian University]. – 2014. – Vol. 51. – № 4. – P. 43-47 [in Russian].
3. Voloshin V. A. Jsainfoin peschanyj v Permskom krae [Sandy sainfoin in the Perm Territory] / V. A. Voloshin // Permskij agrarnyj vestnik [Perm Agrarian Bulletin]. – 2013. – № 4 (4). – P. 8-11 [in Russian].
4. Gamidov I. R. Nekotorye jelementy tehnologii vozdeljvanija jsainfoina peschanogo v uslovijah Severo-Zapadnogo Priskasija [Some elements of the technology for cultivating sandy sainfoin in the conditions of the Northwest Caspian Sea] / I. R. Gamidov, K. M. Ibragimov, M. M. Umahanov, S. A. Tejmurov // Gornoe sel'skoe hozjajstvo [Mountain agriculture]. – 2017. – № 3. – P. 36-39 [in Russian].
5. Dronova T. N. Vlijanie mikrobiologicheskijh preparatov na simbioticheskuju dejatel'nost' i produktivnost' mnogoletnih bobovyh trav [The influence of microbiological preparations on the symbiotic activity and productivity of perennial legumes] / T. N. Dronova, N. I. Burtseva // Izvestiya Nizhnevolzhskiy agrouniversitetskogo complex [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity complex: science and higher vocational education]. – 2018. – № 2 (50). – P. 44-51 [in Russian].
6. Dronova T. N. Simbioticheskaja dejatel'nost' i produktivnost' mnogoletnih bobovyh trav pri ispol'zovanii mikrobiologicheskijh preparatov [Symbiotic activity and productivity of perennial legumes when using microbiological preparations] / T. N. Dronova, N. I. Burtseva, D. K. Kulik // Plodorodie [Fertility]. – 2018. – № 5 (104). – P. 61-63 [in Russian].
7. Dronova T. N. Perspektivy vozdeljvanija kozljatnika vostochnogo na oroshaemyh zemljah Nizhnego Povolzh'ja [Prospects for the cultivation of eastern goat on the irrigated lands of the Lower Volga region] / T. N. Dronova, N. I. Burtseva, E. I. Molokantseva // Gornoe sel'skoe hozjajstvo [Mountain agriculture]. – 2017. – № 4. – P. 26-29 [in Russian].
8. Kapustin N. I. Vlijanie mikroudobrenija "Akvamiks-t" i rizotorfina na produktivnost' kozljatnika vostochnogo [The influence of micro-fertilizer "Aquamix-t" and rizotorphin on the productivity of the eastern goat] / N. I. Kapustin, A. N. Naliukhin, A. G. Ladukhin et al. // Agrohicheskij vestnik [Agrochemical Bulletin]. – 2007. – № 3. – P. 14-16 [in Russian].
9. Kshnikatkin S. A. Agrojekologicheskaja jeffektivnost' inokuljaccii semjan bakterial'nymi preparatami i kompleksnymi mikrojelementnymi udobrenijami v resursosberegajushhej tehnologii vozdeljvanija klevera pannonskogo [Agroecological efficiency of seed inoculation with bacterial preparations and complex microelement fertilizers in resource-saving technology of Pannonian clover cultivation] / S. A. Kshnikatkin, N. A. Karpov // Niva Pov-olzh'ja [Field of the Volga region]. – 2020. – № 2 (55). – P. 28-33 [in Russian].
10. Sabanova A. A. Vlijanie rizotorfina na rost, razvitie i produktivnost' klevera lugovogo [The influence of rhizotorphin on the growth, development and productivity of meadow clover] / A. A. Sabanova, A. T. Farniev // Sursky Vestnik [Sursky Bulletin]. - 2019. - № 3 (7). - P. 43-46 [in Russian].
11. Filin V. I. Fiziko-himicheskie metody analiza v agrohimii. Uchebnoe posobie [Physicochemical methods of analysis in agrochemistry. Study guide] / V. I. Filin, M. S. Nikulin, A. N. Groshev, A. M. Strjukov. – Volgograd: VolGAU, 2013. – 256 p. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.022>

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОЧНОЙ ЯГНЯТИНЫ

Научная статья

Казанчев С.Ч.^{1,*}, Унажиков А.М.², Магомедов К.Г.³, Кожаева Д.К.⁴

^{1, 2, 3, 4} Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Нальчик, Россия

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

Аннотация

Научная работа носит прикладной характер и посвящена использованию нанотехнологии при выращивании молочной ягнятины и подбору пород, сочетающих крупноплодность с интенсивным ростом ягнят в подсосный (молочный) период. Впервые в республике проведен простой промышленный метод скрещивания курдючных пород овец с северокавказской мясо-шерстной полутонкорунной породой овец. Приведены результаты изучения мясной продуктивности у аутбредных мясо-сальных пород овец, гиссарской, эдильбаевской и северокавказской мясо-шерстной полутонкорунной породы, рассмотрены показатели роста, развития и мясной продуктивности ягнят в молочный период. В результате межпородного скрещивания полученные помеси в массе не обладали хорошей энергией роста и скороспелостью. Для устранения указанных недостатков и расширения генетического разнообразия были завезены бараны-производители мясо-сальных пород. Результат ежемесячного взвешивания показал, что ягнята в подсосный период при использовании влажного плющенного ячменя, овса, кукурузы и гороха обеспечивали интенсивный рост. При этом живая масса в 4-месячном возрасте у помесных ягнят достигает 38-41 кг у валушков и баранчиков, а у чистопородных северокавказских – 28-32 кг.

Ключевые слова: молочная ягнятина, аутбридинг, северокавказская, мясошерстная, эдильбаевская, гиссарская.

ON THE EFFICIENCY OF DAIRY LAMB PRODUCTION

Research article

Kazanchev S.Ch.^{1,*}, Unazhikov A.M.², Magomedov K.G.³, Kozhaeva D.K.⁴

^{1, 2, 3, 4} Kabardino-Balkarian State Agrarian University; Nalchik, Russia

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

Abstract

The current study is of an applied nature and deals with the use of nanotechnology in the cultivation of dairy lamb and the selection of breeds that combine heavy litter with intensive growth of lambs in the weaning (dairy) period. The study features a simple industrial method of crossing fat-rumped sheep breeds with the North Caucasian wool-and-meat producing semi-fine sheep breed; the method is carried out for the first time in the republic. The authors present the results of studying meat productivity in outbred mutton-fat breeds of sheep, Hissar, Edilbay, and North Caucasian meat-and-wool semi-fine wool breeds; the article examines the indicators of growth, development, and meat productivity of lambs in the preweaning period. As a result of interbreeding, the resulting crossbreeds did not have sufficient growth energy and earliness of maturity. In order to eliminate these shortcomings and expand the genetic diversity, the study imported sheep-producers of mutton-fat breeds. The result of monthly weighing shows that during the weaning period, when using wet flattened barley, oats, corn and peas, lambs show intensive growth. At the same time, the live weight at the age of 4 months in cross-bred lambs reaches 38-41 kg in wethers and rams, while in purebred North Caucasian lambs it amounts to 28-32 kg.

Keywords: dairy lamb, outbreeding, North Caucasian, wool-and-meat producing sheep, Edilbay, Hissar.

Введение

Использование нанотехнологии при выращивании молочной ягнятины вызывает необходимость создания животных с высокой мясной продуктивностью, эффективно использующих корма, приспособленных к инновационным методам. Основой этого метода является эффект гетерозиса, который проявляется у животных по таким признакам, как рост, развитие, скороспелость, продуктивность, плодовитость, выраженным у потомства значительно выше, чем у материнской породы.

В последние годы для скрещивания стали широко использоваться овцы шерстно-мясного и мясо-шерстного направления не отличающиеся большим генетическим разнообразием. Видимо это связано с тем, что в крови перечисленных пород в какой-то степени присутствует кровь английских длинношерстных мясных пород овец типа линкольны, ромни-марши, бордер-лейстеры.

Опыты [1], [2] по межпородному скрещиванию полутонкорунных маток показали, что помеси полученных от такого скрещивания в массе не обладали хорошей энергией роста и скороспелостью, при этом генетическая сила роста была равна от 5 до 7 кг в течение 1 месяца жизни вместо 10-12 кг. Следует отметить, что в зависимости от происхождения по отцовской линии животные уклоняются или в сторону формирования мясных качеств (живая масса), или шерстной продуктивности (настриг).

Для устранения указанных недостатков и расширения генетического разнообразия полученных помесей в 2016 г. нами было завезено в Кабардино-Балкарскую республику несколько баранов-производителей мясо-сальных овец. Все породы этой группы по зоологической классификации относятся к курдючным. Основной вид продукции этих овец – мясо и сало.

В последние годы наблюдается рост численности наиболее продуктивных пород курдючных овец – гиссарской и эдильбаевской. В настоящее время мясо-сальное направление овцеводства рекомендуют для получения молочных ягнят методом скрещивания указанных пород (баранов-производителей в качестве улучшающей породы) с матками северокавказской мясо-шерстной полутонкорунной породы.

Цель работы – использовать биологический эффект скрещивания для получения крупных молочных ягнят со средней массой при рождении от 5 до 7 кг, а при отбивке – 38-40 кг, а также определить эффективность подкормки на районах с цельным увлажненным и плющенным зерном ячменя.

Исходя из цели, перед нами были поставлены следующие задачи:

- оценка эффективности использования промышленных гибридов курдючных баранов гиссарской и эдильбаевской пород с северокавказской мясо-шерстной полутонкорунной породой;
- определение продукционных возможностей гибридов, в сравнении с исходными видами, изучение их роста и развития на первом году жизни.

Материалы, место и методика исследований

В Кабардино-Балкарской республике разводят овец нескольких направлений продуктивности. Поэтому вопрос о методах улучшения этих овец и восстановления производства молочных ягнят встал перед овцеводами республики после окончания разрушительной перестройки. Исходными предпосылками районирования пород служили требования народного хозяйства к продукции овцеводства. Как плановые породы рекомендованы: советская мясо-шерстная (40%), карачаевская (40%) и 20% северокавказская мясо-шерстная полутонкорунная породы. Указанные районированные породы характеризуются хорошей мясной продуктивностью по массе в молочный период. Наиболее высокие показатели роста (мясной продуктивности) имеет северокавказская мясо-шерстная полутонкорунная порода.

В связи с переходом мясо-шерстного овцеводства на нанотехнологию производство молочной ягнатины мы завезли самых крупных овец в мире в качестве улучшающей породы (гиссарской и эдильбаевской) баранов-производителей.

Использованные в случке бараны-производители были завезены в годовалом возрасте (по 10 голов) в 2015 г. из Кизлярского района (черные земли) республики Дагестан ООО Фермерского хозяйства «Мусаев».

Из крупно-многоплодных маток северокавказская мясо-шерстная полутонкорунная порода из племсовхоза «Восток» Ставропольского края (200 голов).

В конце августа месяца (с 22 августа по 10 сентября) 2016 г. нами была сформирована отара первоклассных по живой массе (58-62 кг), но выбракованных по качеству шерсти маток северокавказской мясо-шерстной полутонкорунной породы в возрасте 1,5-2,0 лет (200 голов). Содержались они в хозяйственных условиях на пастбищном типе кормления. Случка проводилась методом искусственного осеменения по такой схеме: СКМ×ГС, СКМ×ЭД, СКМ×СКМ (названия пород обозначены общепринятыми сокращениями, применяемыми при бонитировке). Ранее ягнение проходило в начале января до 10 февраля 2017 г., то есть в обычный срок, принятый в условиях многих фенологических районов Кабардино-Балкарской республики.

При формировании опытных групп отбирались ягнята из числа не ниже 5 кг живой массы при рождении у аутбридингов и 4 кг у СКМ чистопородных нормально развитые, с разницей в возрасте, не превышающей 10 дней. Было выделено 150 ягнят (3 группы). Кастрация ягнят производилась при достижении ягнятами двухнедельного возраста, но для изучения роста и развития баранчиков в сравнении с валушками было оставлено 60 баранчиков, аналогичных валушкам по дате рождения и живой массе при рождении.

Базой послужил КФХ фермерского хозяйства «Шидгинов» Кабардино-Балкарской республики IV-V эколого-фенологической зоны сельскохозяйственного производства.

Контроль роста и развития осуществляли по методике ВИЖ им. Эрнста. За показатель интенсивности роста принимали ежемесячный относительный прирост (Брюзгин, 1989), относительный коэффициент роста по А.Г.

Северцеву (1965) $q = \frac{C_p}{C_t}$, вычисляли удельную скорость роста массы (C_p) и косую длину туловища (C_t), используя формулу В.В. Васнецова (1953):

$$C = \frac{\ell_g P_2 - \ell_g P_1}{(t_2 - t_1) 0,4343},$$

где P_2, P_1 – конечная и начальная масса; t_1, t_2 – конечный и начальный возраст.

Контрольный убой проводили по той же методике ВИЖа (1985) в соответствии с методической рекомендацией по изучению мясной продуктивности и качества мяса овец (ВИЖ, ВНИИМС, 1985). Для изучения морфологического состава (масса охлажденной туши, мясо-мякоти, кости и сухожилия) от каждой группы были взяты туши трех валушков и баранчиков путем их обвалки и сортового разуба. Сортовую разубку туш производили по схеме прејскуранта для розничной торговли в соответствии с ГОСТом 7596-85.

Мясо от всех сортов по окончании обвалки подвергалось жиловке, смешивалось и пропусклось через волчок на фарш, от которого после тщательного перемешивания на смесителе, бралась из многих мест проба массой в 400 г для анализа.

Результаты исследований

Подготовку к выращиванию молочных ягнят мы начали с отбора маток, способных обеспечить быстрый рост приплода в подсосный период. В соответствии с планом районирования нами были завезены северокавказские матки полутонкорунной мясо-шерстной породы. Это крупные животные, живая масса маток 55-60 кг, имеют крепкую конституцию, высокую плодовитость (140 ягнят на 100 обьягнвившихся маток), обильно-молочные и ярко выраженный материнский инстинкт.

При подготовке маток к случке мы использовали искусственные посеы злаково-бобовых трав в количестве 5-10 кг и 200 г плющенного овса, оказывающего специфическое действие на повышение плодовитости овец.

Структура (%) рациона во время случки овцематок составила: зелена масса – 65% (трава естественная), пастбища – 17%, кормовая капуста – 33%, зеленая масса озимой ржи – 15%. Кормовых единиц в кг – 1,05-1,25 и переваримого протеина – 80-95 г.

После проведения случки мы не ослабили внимания к полноценному кормлению маток в первый период суягности, продолжительное время использовали пастбище, отаву многолетних трав и различные пожнивные остатки. При необходимости в дополнение к этому корму вводили регулярную подкормку концентратами, а позже и силос кукурузный.

Наряду с подкормкой для укрепления здоровья маток, повышения плодовитости и крепости плода использовали регулярную пастбу до глубокого снега. В качестве пастбищ – отаву сеяных и естественных трав, площади из-под овощных культур (кормовая капуста), кустарники, специальные пожнивные посевы озимой ржи.

Во второй период суягности быстро развивается и растет плод. Для маток мы использовали следующую структуру рациона: сочный корм – 45% (силос кукурузный), сено злаково-бобовое – 20%, концентраты зернобобовые – 35%. Тип кормления полуконцентратный. Данная структура рациона к концу суястного периода овцематок обеспечила прирост на 13-15 кг. Приведенная структура рациона составлена в расчете на развитие у матки одного плода. Нами установлено, что высокая молочность маток в мясном овцеводстве имеет особое значение в связи с выращиванием скороспелых молочных ягнят, которые в первые 2-3 месяца жизни должны давать 250-300 г среднесуточного прироста и достигнут к отъему (4 месяца) не менее 38-42 кг. В это время основным кормом для них является молоко матери. Кормление подсосных маток проводили по нормам, разработанным ВИЖ им. академика Эрнста, в которых предусматривается более высокий уровень обеспечения животных питательными веществами в первые 2 месяца лактации и снижение его на 15% в 3-4 месяца подсоса (табл. 1).

Ранее ягнение проходило с 15 января и до 20 февраля. Для опыта были использованы наиболее крупные ягнята, имевшие при рождении от 5 до 7 кг, т.к. любители молочных ягнят придают большое значение развитию курдючного сала.

Для выращивания было взято 120 баранчиков (одиночных и двойных), для изучения роста и развития баранчиков было оставлено 40 баранчиков, аналогично валушкам по дате рождения и живой массе при рождении.

Результаты ежемесячного взвешивания валушков и баранчиков приведены в таблице 1.

Подкормка ягнят в подсосный период обусловила получение высокой живой массы к отбивке, соответствующей требованиям временным стандартам Северного Кавказа (табл. 1). Высокий уровень подкормки с использованием влажного свежего плющенного ячменя, овса, кукурузы и гороха обеспечивает интенсивный рост и способствует ускоренному развитию молочных ягнят.

При выращивании ягнят, полученных от аутбредных производителей, проявляют исключительно высокую энергию роста. Средняя живая масса молочных ягнят при отбивке была на уровне мировых стандартов и превышала на 2-3 кг соответствующий показатель по задействованным породам у ГС×СКМ на 4 кг, ЭД×СКМ на 2 кг ($P>0,999$). Среднесуточный прирост в этих группах равен 315 и 299 г за весь период выращивания.

Таблица 1 – Изменение живой массы баранчиков и валушков за период опыта с возрастом

Возраст ягнят	Средняя масса, $M \pm m$	σ	$Cv, \%$	Прирост массы, г		Среднесуточный прирост, г	Колебания, от - до
				кг	%		
ГС×СКМ							
0	$6,7 \pm 0,13$ $6,7 \pm 0,13$	–	–	–	–	–	–
1	$17,2 \pm 2,14$	$3,1$	$16,3$	$10,5$	$63,8$	350	$420-230$
	$15,7 \pm 2,18$	$2,95$	$19,1$	19	$64,4$	300	$370-200$
2	$27,7 \pm 3,06$	$3,47$	$18,7$	$9,3$	$72,0$	310	$460-245$
	$24,1 \pm 2,91$	$3,05$	$21,3$	$8,4$	$71,2$	280	$390-215$
3	$36,7 \pm 3,11$	$3,75$	$25,6$	$9,0$	$74,4$	300	$400-241$
	$32,1 \pm 3,09$	$3,16$	$22,9$	$8,0$	$73,6$	268	$395-265$
4	$44,5 \pm 3,11$	$3,19$	$27,5$	$8,95$	$79,5$	295	$395-210$
	$39,7 \pm 2,16$	$3,23$	$24,8$	$7,62$	$72,9$	254	$380-215$
ЭД×СКМ							
0	$5,1 \pm 1,31$ $5,1 \pm 1,25$	–	–	–	–	–	$415-215$ $370-200$
1	$14,7 \pm 2,17$	$3,71$	$23,6$	$9,6 \pm 0,13$	$64,9$	320	–
	$13,95 \pm 3,05$	$2,95$	$19,5$	$8,85 \pm 0,11$	$63,7$	295	–
2	$23,9 \pm 3,08$	$3,65$	$27,9$	$9,2 \pm 0,17$	$72,9$	305	–
	$22,23 \pm 3,15$	$2,79$	$21,5$	$8,28 \pm 0,15$	$71,7$	276	–
3	$32,6 \pm 1,10$	$2,45$	$31,5$	$8,7 \pm 1,12$	$74,5$	290	–
	$31,5 \pm 1,17$	$3,16$	$28,4$	$7,8 \pm 0,15$	$73,6$	260	–
4	$41,0 \pm 1,26$	$3,61$	$31,9$	$8,4 \pm 1,13$	$77,0$	280	–
	$38,6 \pm 1,32$	$2,97$	$29,3$	$7,7 \pm 1,25$	$75,0$	235	–

Окончание таблицы 1 – Изменение живой массы баранчиков и валушков за период опыта с возрастом

Возраст ягнят	Средняя масса, М±m	σ	Cv, %	Прирост массы, г		Среднесуточный прирост, г	Колебания, от - до
				кг	%		
СКМ×СКМ							
0	$\frac{4,3 \pm 0,17}{4,3 \pm 0,21}$	–	–	–	–	–	–
1	$\frac{13,3 \pm 2,31}{13,0 \pm 2,57}$	$\frac{2,13}{2,75}$	$\frac{9,0 \pm 0,17}{8,7 \pm 0,21}$	$\frac{47,7}{49,5}$		$\frac{300}{290}$	450 - 210
2	$\frac{22,2 \pm 2,61}{21,7 \pm 2,43}$	$\frac{2,97}{3,01}$	$\frac{8,9 \pm 0,31}{6,6 \pm 0,14}$	$\frac{48,3}{50,1}$		$\frac{295}{215}$	470 - 320
3	$\frac{31,1 \pm 2,71}{24,6 \pm 2,67}$	$\frac{3,35}{3,14}$	$\frac{7,8 \pm 0,35}{4,9 \pm 0,61}$	$\frac{55,1}{58,6}$		$\frac{261}{160}$	315- 269
4	$\frac{32,5 \pm 2,51}{28,4 \pm 2,31}$	$\frac{3,68}{3,27}$	$\frac{5,7 \pm 0,45}{3,9 \pm 0,74}$	$\frac{75,4}{71,3}$		$\frac{190}{130}$	349 - 201

Примечание: в числителе – баранчики, в знаменателе – валушки

В связи с одинаковой живой массой маток в опытных группах на величину живой массы ягнят при рождении основное влияние оказали: порода барана и метод подкормки + увлажненное молочной сывороткой плющенное зерно.

Наиболее высокий прирост живой массы у всех групп животных наблюдается в период рождения до 2-месячного возраста. Отношение живой массы к их массе при рождении в этом возрасте равно у баранчиков ГС×СКМ и ЭД×СКМ – 624, у валушков – 600%, у СКМ×СКМ соответственно – 584 и 530%.

Более высокие показатели прироста живой массы баранчиков двух помесных и одного чистопородного во все возрастные периоды по сравнению с валушками говорят о том, что в условиях интенсивного выращивания баранчики проявляют большую способность к увеличению живой массы.

Средний суточный прирост от рождения до 2-месячного возраста составляет у баранчиков ГС×СКМ – 461 г, у ЭД×СКМ – 398, у СКМ×СКМ – 370 г (P>0,999). С 2-месячного до 4-месячного возраста средний прирост равен у помесных соответственно: $\frac{295}{254}$, $\frac{280}{235}$ и у чистопородных $\frac{190}{130}$ граммов (P>0,999).

Для оценки мясной продуктивности был проведен контрольный убой молочных 4-месячных ягнят по 5 голов из каждой группы, имевший идентичный (по массе и упитанности) показатель (табл. 2).

Данные таблицы показывают, что убойная масса и выход у помесных молочных ягнят выше по сравнению с чистопородными матками. Ягнята будучи подсосными до 4-месячного возраста обильно питались зеленой травой и необычно подготовленными зерновыми кормами, которые содержали необходимые питательные вещества для растущего организма, что и обеспечило высокий убойный выход мясopодуктов. Высоким убойным выходом мясopодуктов отличаются помесные ягнята, он равен у ГС×СКМ – $\frac{56,7}{56,2}$, у ЭД×СКМ – $\frac{54,4}{55,5}$ % и чистопородных –

$\frac{47,6}{48,1}$ % (P>0,999). Количество курдючного сала выше у ГС×СКМ на 3,4%, чем ЭД×СКМ. Доля курдючного сала

составляет ГС×СКМ 79,6 у баранчиков и 76,3% у валушков.

Таблица 2 – Результаты контрольных забоев молочных ягнят помесного происхождения

Показатели		Группы		
		ГС×СКМ	ЭД×СКМ	СКМ×СКМ
Предубойная масса, кг		$\frac{43,6 \pm 0,36}{38,8 \pm 0,45}$	$\frac{40,1 \pm 0,27}{37,7 \pm 0,32}$	$\frac{35,1 \pm 0,41}{31,6 \pm 0,39}$
Масса, кг	парной туши	$\frac{21,8 \pm 0,16}{19,4 \pm 0,27}$	$\frac{20,0 \pm 0,23}{18,8 \pm 0,65}$	$\frac{16,5 \pm 0,63}{15,0 \pm 0,45}$
	курдючного сала	$\frac{2,3 \pm 0,17}{2,6 \pm 0,23}$	$\frac{2,0 \pm 0,24}{2,4 \pm 0,33}$	– –
	внутреннего сала	$\frac{0,64 \pm 0,42}{0,35 \pm 0,37}$	$\frac{0,45 \pm 0,29}{0,32 \pm 0,35}$	$\frac{0,285 \pm 0,21}{0,201 \pm 0,43}$
Убойная масса		$\frac{24,74 \pm 0,29}{21,8 \pm 0,56}$	$\frac{22,45 \pm 0,57}{20,92 \pm 0,71}$	$\frac{16,9 \pm 0,61}{15,2 \pm 0,64}$
Убойный выход, %		$\frac{56,7 \pm 0,21}{56,2 \pm 0,31}$	$\frac{54,4 \pm 0,37}{55,5 \pm 0,16}$	$\frac{47,6 \pm 0,37}{48,1 \pm 0,72}$

Окончание таблицы 2 – Результаты контрольных забоев молочных ягнят помесного происхождения

Показатели		Группы		
		ГС×СКМ	ЭД×СКМ	СКМ×СКМ
Выход, %	мякоти	$78,1 \pm 0,11$	$77,9 \pm 0,53$	$76,3 \pm 0,35$
		$80,1 \pm 0,16$	$78,2 \pm 0,63$	77,2
	костей	$21,9 \pm 0,15$	$22,1 \pm 0,71$	$23,7 \pm 0,42$
		$19,9 \pm 0,32$	21,8	$22,8 \pm 0,37$
Коэффициент мясности, ед.		$3,95 \pm 0,25$	$3,8 \pm 0,13$	$3,1 \pm 0,12$
		$3,3 \pm 0,27$	$3,2 \pm 0,41$	$2,8 \pm 0,26$

Примечание: в числителе – баранчики, в знаменателе – валушки

Касаясь половых различий в выходе сала, нужно указать, что баранчики лучше накапливают курдючный жир и значительно хуже откладывают внутренний жир, а валушки наоборот.

Результаты обвалки и жиловки показали, что по всем категориям упитанности выход мышц у помесного молодняка курдючных овец значительно выше норм, временно установленных на Северном Кавказе, выход костей и сухожилий оказался ниже нормативов.

Экономический эффект производства молочной ягнятины при их реализации в 4-месячном возрасте составляет 150% по баранчикам и 145 по валушкам.

Выручка от реализации помесных молочных ягнят по сравнению с СКМ×СКМ несколько больше на 25-30% ($P > 0,999$).

Выводы

1. Курдючные овцы по живой массе превышают овец многих пород. Биологическим свойством является хорошая скороспелость и большая скорость роста.

2. Скрещивание СКМ×ГС и ЭД повысило выход ягнят к отбивке на 15-27% по сравнению с чистопородными, увеличило живую массу ягнят при рождении, при отбивке в 4-месячном возрасте на 10-15%.

3. Улучшило убойные и мясные качества помесных ягнят по сравнению СКМ за счет более высокой живой массы ягнят. Реализация ягнят на убой в 4-месячном возрасте способствует росту удельного веса маток в стаде, интенсифицирует отрасль, дает возможность на тех же затратах получить больше продукции более высокого качества.

4. Рекомендуем использовать в хозяйствах Кабардино-Балкарской республики баранов курдючных пород для скрещивания с районированными овцами с целью получения скороспелых помесных молочных ягнят.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Медеубеков К. У. Инструкция по бонитировке овец курдючных пород / К. У. Медеубеков. – Алма-Ата, 1971. – 80 с.
2. Санников П.С. Практическая рекомендация по преобразованию тонкорунных пород овец / П. С. Санников. – Ставрополь, 1988. – 120 с.
3. Ульянов А. Н. Вводное скрещивание южной мясной породы с отцовской породой Тексель / А.Н. Ульянов, А. Я. Куликова // Овцы, козы, шерстное дело. – 2014. – №4. – С. 18–20.
4. Абонеев В. В. Рекомендации по созданию массива мясных мереносов в восточной зоне Ставропольского края с использованием импортных баранов-производителей / В. В. Абонеев, Ю. Д. Квитко, А. И. Суров и др. ГНУ СНИИЖК. – Ставрополь, 2010. – С. 10.
5. Траисов Б. Б. Кроссбредные мясо-шерстные овцы Западного Казахстана / Б. Б. Траисов, Н. А. Балакирев, Ю. А. Юлдашбаев и др. : монография. – Москва, 2019. – 296 с.
6. Траисов Б. Б. Мясная продуктивность молодняка мясо-шерстных овец разных генотипов / Б. Б. Траисов, Ю. А. Юлдашбаев, Н. И. Кульмакова и др. // Овцы, козы, шерстное дело. – 2000. – №1. – С. 16–18.
7. Молчанов А. В. Мясная продуктивность эдильбаевских баранчиков различных сроков ягнения / А. В. Молчанов // Достижение науки и техники. – 2011. – №12. – С. 65–66.
8. Kazanchev S. C. Influence of genetic and paratypical factors on lamb's resistance / S. C. Kazanchev, A. M. Unazhokov, O. O. Getokov et al. // E3S Web of Conferences 254,08022. – 2021.
9. Унажоков А. М. Эффективность выращивания баранчиков разных сроков рождения / А. М. Унажоков, С. Ч. Казанчев // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты: сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Нальчик: ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, 2021. – Т. II. – 376 с.
10. Унажоков А. М. Откормочные качества овец Северокавказской полутонко-рунной мясо-шерстной породы и их помесей / А. М. Унажоков, С. Ч. Казанчев // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты: сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Нальчик: ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, 2021. – Т. II. – 376 с.
11. Хабжоков А. Б. Овцеводство и повышение его эффективности в Кабардино-Балкарской республике / А. Б. Хабжоков, С. Ч. Казанчев, О. О. Гетоков и др. – Махачкала: Издательство Общества с ограниченной ответственностью «АЛЕФ», 2020.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Medeubekov K. U. Instruksiya po bonitirovke ovets kurdyuchnykh porod [Instructions for the bonitization of sheep of fat-tailed breeds] / K. U. Medeubekov. – Alma-Ata, 1971. – 80 p. [in Russian]
2. Sannikov P.S. Prakticheskaya rekomendatsiya po preobrazovaniyu tonkorunnykh porod ovets [Practical recommendation for the transformation of fine-wool sheep breeds] / P. S. Sannikov. – Stavropol', 1988. – 120 p. [in Russian]
3. Ul'yanov A. N. Vvodnoe skreshchivanie yuzhnoj myasnoj porody s ottsovskoj porodoj Teksel' [Introductory crossing of the southern meat breed with the paternal Texel breed] / A.N. Ul'yanov, A. Ya. Kulikova // Ovttsy, kozy, sherstnoe delo. – 2014. – №4. – P. 18-20. [in Russian]
4. Aboneev V. V. Rekomendatsii po sozdaniyu massiva myasnykh merenosov v vostochnoj zone Stavropol'skogo kraja s ispol'zovaniem importnykh baranov-proizvoditelej [Recommendations for creating an array of meat merinos in the eastern zone of the Stavropol Territory using imported sheep producers] / V. V. Aboneev, Yu. D. Kvitko, A. I. Surov et al. GNU SNIIZhK. – Stavropol', 2010. – P. 10. [in Russian]
5. Traisov B. B. Krossbrednye myaso-sherstnye ovttsy Zapadnogo Kazakhstana / B. B. Traisov, N. A. Balakirev, Yu. A. Yuldashbaev et al.: monografiya. – Moskva, 2019. – 296 p. [in Russian]
6. Traisov B. B. Myasnaya produktivnost' molodnyaka myaso-sherstnykh ovets raznykh genotipov / B. B. Traisov, Yu. A. Yuldashbaev, N. I. Kul'makova et al. // Ovttsy, kozy, sherstnoe delo. – 2000. – №1. – P. 16-18. [in Russian]
7. Molchanov A. V. Myasnaya produktivnost' jedil'baevskikh baranchikov razlichnykh srokov yagneniya / A. V. Molchanov // Dostizhenie nauki i tekhniki [Meat productivity of Edilbaevsky sheep of various lambing periods]. – 2011. – №12. – P. 65-66. [in Russian]
8. Kazanchev S. C. Influence of genetic and paratypical factors on lamb's resistance / S. C. Kazanchev, A. M. Unazhokov, O. O. Getokov, R. Z. Abdulkhalikov, M. G. Tleinsheva // E3S Web of Conferences 254,08022. – 2021.
9. Unazhokov A. M. Jeffektivnost' vyrashchivaniya baranchikov raznykh srokov rozhdeniya / A. M. Unazhokov, S. Ch. Kazanchev // Aktual'nye problemy agrarnoj nauki: prikladnye i issledovatel'skie aspekty: sbornik nauchnykh trudov Vserossijskoj (natsional'noj) nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Nal'chik: FGBOU VO Kabardino-Balkarskij GAU, 2021. – V. II. – 376 p. [in Russian]
10. Unazhokov A. M. Otkormochnye kachestva ovets Severokavkazskoj polutonko-runnoj myaso-sherstnoj porody i ikh pomesej [Fattening qualities of sheep of the North Caucasian semitone-fleece meat-wool breed and their crossbreeds] / A.M. Unazhokov, S. Ch. Kazanchev // Aktual'nye problemy agrarnoj nauki: prikladnye i issledovatel'skie aspekty [Actual problems of agrarian science: applied and research aspects: collection of scientific papers of the All-Russian (national) scientific and practical conference]. – Nal'chik: FGBOU VO Kabardino-Balkarskij GAU, 2021. – V. II. – 376 p. [in Russian]
11. Khabzhokov A. B. Ovtsevodstvo i povyshenie ego jeffektivnosti v Kabardino-Balkarskoj respublike [Sheep breeding and increasing its efficiency in the Kabardino-Balkar Republic] / A. B. Khabzhokov, S. Ch. Kazanchev, O. O. Getokov et al. – Makhachkala: ALEF, 2020. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.023>

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ВЕДЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ВИНОГРАДНЫХ КУСТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОНОСНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ

Научная статья

Майбородин С.В.*

ORCID: 0000-0003-3654-0132,

Донской государственной аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (maiborodin87[at]mail.ru)

Аннотация

В последние годы на виноградные плантации РФ пришли новые сорта винограда зарубежной селекции, среди них технический сорт Кристалл венгерской селекции и столовый сорт Августин болгарской селекции.

Известно, что сорт винограда максимально раскрывает свои потенциальные возможности при правильном подборе и применении определенных агротехнических приемов, которые должны учитывать его биологические особенности. Достижение наивысшей экономической эффективности при выращивании возможно лишь при применении промышленных технологий возделывания винограда индустриального типа. К наиболее значимым агроприемам, применяемым на виноградниках, относятся: способы ведения, формирования и обрезки кустов винограда.

Целью нашей работы было изучить характер роста и плодоношения винограда сорта Кристалл, расположенного в условиях Нижнего Придонья, а также сорта Августин, расположенного в Анапском районе Краснодарского края, в зависимости от применения различных вариантов формирования кустов и способов их ведения.

Ключевые слова: виноград, сорт, побеги, урожайность, нагрузка.

THE INFLUENCE OF METHODS OF MANAGEMENT AND TRAINING OF GRAPE VINES ON THE INDICATORS OF FRUITFULNESS AND PRODUCTIVITY

Research article

Mayborodin S.V.*

ORCID: 0000-0003-3654-0132,

Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (maiborodin87[at]mail.ru)

Abstract

In recent years, new grape varieties of foreign selection have come to the grape plantations of the Russian Federation, among them the technical variety Kristall of the Hungarian selection and the table variety Avgustin of the Bulgarian selection.

It is known that the grape variety maximizes its potential with the correct selection and application of certain agrotechnical techniques that should take into account its biological characteristics. Achieving the highest economic efficiency in cultivation is possible only with the use of industrial technologies for the cultivation of industrial-type grapes. The most significant agricultural practices used in vineyards include: methods of management, training and pruning of grape vines.

The purpose of this research was to study the nature of the growth and fruiting of the Kristall grape variety located in the Lower Don region, as well as the Avgustin variety located in the Anapa district of Krasnodar Krai, depending on the application of various options for vine training and methods of their management.

Keywords: grapes, variety, shoots, yield, load.

Введение

На протяжении долгих лет развития агротехнологических подходов к способам выращивания винограда особое внимание исследователями уделялось вопросам ведения, формирования и обрезки кустов винограда с учетом используемой площади питания и схем посадки кустов. Применяемые на виноградниках агротехнические приемы практически полностью способны отразить всю специфику климатических и экономических условий районов возделывания растений.

Определение и подбор оптимальной технологии возделывания насаждений является ключевым фактором в повышении эффективности производства винограда. При определении технологии необходимо рассматривать адаптированные к конкретным условиям района возделывания сорта винограда, а также подбирать рациональные способы их выращивания. При этом не стоит забывать о том, что выбранная система ведения и формирования растений должна максимально учитывать биологические особенности сортов и почвенно-климатические условия района возделывания.

Для получения максимального эффекта от выращивания винограда необходимо, в первую очередь, установить размеры растений, которые определяются принятыми формировками, способами ведения, а также обрезки кустов винограда. Также немаловажно сформировать архитектуру и архитектуру виноградника (внешний облик), которые позволят создать благоприятные условия для необходимого питания растений и обеспечения их необходимыми условиями для нормального плодоношения и развития.

Методы исследований

Исследования на сорте Кристалл в условиях Нижнего Придонья проводились в 2019-2020 гг. Было изучено 5 способов ведения и формирования кустов. Схема посадки 3x1,5 м. В Анапском районе на сорте Августин исследовано 5 способов ведения и формирования кустов. Схема посадки 3x2 м. Всего изучено 8 вариантов опытов с различными нормами нагрузки кустов. Подвой в обоих случаях Кобер 5ББ. Все агробиологические учеты и наблюдения велись по общепринятой методике агротехнических исследований [1].

Основные результаты

Наиболее полно реализовать свои потенциальные возможности сорта винограда Кристалл и Августин, в условиях проведения наших исследований, смогли при подборе оптимальных параметров агротехнических приемов.

Адаптированность сорта к экологическим и климатическим условиям произрастания определяется его реакцией на стрессы окружающей среды (зимние понижения температуры, ранневесенние и осенние заморозки т.д.) [2], [3].

Одним из наиболее объективных биологических признаков реакции сорта на условия среды произрастания является распускание глазков и плодоносность развившихся из них побегов [4]. Так, в ходе проведения исследований по определению качества сохранности и плодоносности побегов, наилучший результат у сорта Августин в условиях Анапы был отмечен при двухъярусном расположении основных формирующих элементов кустов. Доля плодоносных побегов была в интервале от 43 до 52 % (табл.).

Виноградники с сортом Кристалл, расположенные в Нижнем Придонье, выделялись высокой морозоустойчивостью. Так, среднемесячная температура января в Новочеркаске составила -10°C против $-5,1^{\circ}\text{C}$ по норме, а абсолютный минимум температуры понижался до -28°C . При этом стоит отметить вполне удовлетворительную перезимовку кустов, для таких погодных условий зимы. Доля плодоносных побегов в насаждениях с формой кустов двухсторонний горизонтальный кордон была 88%, при минимальном значении 82% (табл.).

Плодоносность, как и величина грозди, позволяют нам говорить о преимуществе какой-то из выбранных систем ведения кустов. По сути именно плодоносность и размер грозди определяют урожайность насаждения [5], [6].

Таблица 1 – Влияние способа ведения и формирования виноградных кустов на показатели плодоносности и продуктивности

Формировка куста	Норма нагрузки, поб./куст	Развилось побегов, %	Плодоносность побегов, %	Средняя масса грозди, г.	Урожайность		Концентрация сока ягод, г/дм ³	
					куста, кг	т/га	сахаров	титруемых кислот
Сорт Кристалл (среднее за 2019-2020 гг.) S= 3 x 1,5 м (г. Новочеркаск)								
2-х-сторонний кордон	29	72	88	129	5,7	12,6	192	5,8
Спиральный кордон	36	69	85	132	6,4	14,2	191	5,4
2-х-плечий Гюйо	26	71	86	132	5,2	11,5	192	5,6
Зигзагообразный кордон	43	66	82	131	7,7	17,1	202	5,5
У-образная	37	68	87	149	7,8	17,3	192	5,9
Сорт Августин, 2019-2020 гг., S= 3 x 2 м. (г. Анапа)								
2-х-сторонний кордон	20	57	43	291	3,2	5,3	172	9,9
Спиральный кордон	20	66	50	323	3,5	5,8	178	10,8
2-х-рукавная высокоштамбовая	23	62	52	313	4,3	7,1	180	10,2
Зигзагообразный кордон	26	65	50	336	4,7	7,8	179	11,0
У-образная	24	62	44	312	4,0	6,7	194	10,8

У сорта Августин преимущество по массе грозди было в варианте опыта с формировкой зигзагообразный кордон - 336 г., а наименьшее значение составило 291 г.

У сорта Кристалл интервал по массе грозди был от 129 г. (2-х-сторонний кордон) до 149 г. (У-образная) (табл. 1).

Более контрастная разница между изучаемыми способами ведения отмечена при анализе урожайности. Так, максимальная урожайность четырехлетних кустов сорта Августин в Анапском районе Краснодарского края зафиксирована в насаждениях с новыми формировками кустов: высокоштамбовая 2- х рукавная и зигзагообразный кордон - 7,1 и 7,8 т/га, соответственно, а минимальная 5,3 т/га в насаждениях с 2-х сторонним горизонтальным кордоном [7], [8] (табл. 1).

В насаждениях винограда сорта Кристалл в Нижнем Придонье отмечено преимущество по показателям урожайности в формировках виноградных кустов: зигзагообразный кордон и У-образная – 17,1 и 17,3 т/га, против 11,5 т/га в варианте опыта с формировкой 2-х плечий Гюйо. При этом не было установлено существенных различий между вариантами по содержанию сахаров в соке ягод [9], [10] (табл. 1).

Необходимо отметить хорошую сахаронакопительную способность винограда сорта Кристалл. Так, вариант опыта, где была отмечена максимальная урожайность (17,3 т/га) не показал при этом существенного снижения содержания сахаров в соке, что подтверждают данные из таблицы.

Установилось мнение, что сорт винограда, определяет дальнейшее направление использования урожая в конкретных экологических условиях, а передовые агротехнические приемы – максимально возможную величину его при требуемых технологических кондициях сока ягод. В конечном счете, мы видим, что все агротехнические приемы, которые мы использовали на виноградниках в процессе проведения исследований, оказали различное влияние на урожайность насаждений.

Заключение

Проведенные нами исследования позволяют сделать определенные выводы. Так, нами не отмечено существенных различий между вариантами опытов, как при возделывании сорта винограда Августин в условиях г. Анапы

Краснодарского края, так и сорта Кристалл в условиях Нижнего Придонья по применению различных агротехнических приемов в показателях качества полученного урожая.

Урожайность сорта Августин была на 20-85% ниже урожайности сорта Кристалл, что объясняется различными нормами нагрузки кустов побегами в сравниваемых формировках кустов.

Однако, нужно отметить, что отмечена положительная реакция виноградных кустов на способы ведения и формирования. Размещение основных формирующих элементов высокоштабных кустов на двух ярусах шпалеры позволило увеличить кроновое пространство. Такое положение кустов благоприятно отразилось на листостебельном аппарате, даже не смотря на повышенную нагрузку побегами. Все это обеспечило рост продуктивности насаждений на 15-25 %.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Агротехнические исследования по созданию интенсивных виноградных насаждений на промышленной основе. Новочеркасск: ВНИИ виноградарства и виноделия им. Я.И. Потапенко, 1978. - 174 с.
2. Виноградарство России: Настоящее и будущее / Е.А. Егоров, А.Е. Аджиев, Ш.Н. Гусейнов и др. – Махачкала, 2004. - 439 с.
3. Виноградарство с основами виноделия. - Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 472 с.
4. Гусейнов Ш. Н. Взаимосвязь агробиологических признаков и их влияние на продуктивность виноградников / Ш. Н. Гусейнов // Русский виноград. - 2016. - Т. 4. - С. 163-173.
5. Гусейнов Ш. Н. Влияние нормы нагрузки кустов побегами на продуктивность виноградника / Ш. Н. Гусейнов, С. В. Майбородин, А. Г. Манацков // Русский виноград. - 2019. - Т. 10. - С. 89-94.
6. Негруль А.М. Виноградарство и виноделие / А.М. Негруль. – М: Колос, 1968. – 512 с.
7. Практикум по виноградарству: [для с.-х. вузов по спец. "Плодоовощеводство и виноградарство"] / К.В. Смирнов, А.К. Раджабов, Г.С. Морозова. – М. – Колос, 1995. – 271 с.
8. Рекомендации по возделыванию автохтонных сортов винограда на Дону. – Новочеркасск, 2020. – 28 с.
9. Устойчивое производство винограда. Состояние и перспективы развития / Е.А. Егоров, К.А. Серпуховитина, Э.Н. Худавердов. – Краснодар, 2002. – 122 с.
10. Keller M. Cluster Thinning Effects on Three Deficit-Irrigated Vitis vinifera Cultivars / Keller Markus, Mills Lynn J., Wample Robert L. // Am. J. Enol. Vitic. 2005. 56. № 6. P.91-103.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Agrotekhnicheskie issledovaniya po sozdaniyu intensivnyh vinogradnyh nasazhdenij na promyshlennoj osnove [Agrotechnical research on the creation of intensive grape plantations on an industrial basis]. Novocheckassk: VNIИ vinogradarstva i vinodeliya im. Ya. I. Potapenko, 1978. - 174 p. [in Russian]
2. Vinogradarstvo Rossii: Nastoyashhee i budushhee [Viticulture Of Russia: The present and the future] / E. A. Egorov, A. E. Adzhiev, Sh. N. Gusejnov et al. - Mahachkala, 2004. - 439 p. [in Russian]
3. Vinogradarstvo s osnovami vinodeliya [Viticulture with the basics of winemaking] - Rostov-na-Donu: Publishing house SKNC VSH, 2003. - 472 p. [in Russian]
4. Gusejnov Sh. N. Vzaimosvjaz' agrobiologicheskikh priznakov i ih vlijanie na produktivnost' vinogradnikov [Interrelation of agrobiological features and their impact on the productivity of vineyards] / Sh. N. Gusejnov // Russkij vinograd. – 2016. - Vol. 4. – P. 163-173. [in Russian]
5. Gusejnov Sh. N. Vlijanie normy nagruzki kustov pobegami no produktivnost' vinogradnika [The influence of the norm of the load of bushes with shoots on the productivity of the vineyard] / Sh. N. Gusejnov, S. V. Majborodin, A. G. Manackov // Russkij vinograd. – 2019. - Vol. 10. – P. 89-94. [in Russian]
6. Negrul' A.M. Vinogradarstvo i vinodelie [Viticulture and winemaking] / A. M. Negrul'. - M: Kolos, 1968. - 512 p. [in Russian]
7. Praktikum po vinogradarstvu: [dlya s.-h. vuzov po spec. «Plodoovoshhevodstvo i vinogradarstvo»] [Workshop on viticulture: [for agricultural universities on spec. "Fruit and vegetable growing and viticulture"] / K.V. Smirnov, A.K. Radzhabov, G.S. Morozova.-M.-Kolos, 1995. - 271 p. [in Russian]
8. Rekomendacii po vzdelyvaniju avtohtonnyh sortov vinograda na Donu [Recommendations for the cultivation of autochthonous grape varieties on the don] - Novocheckassk, 2020. – 28 p. [in Russian]
9. Ustojchivoe proizvodstvo vinograda. Sostoyanie i perspektivy razvitiya [Sustainable grape production. State and prospects of development] / E.A. Egorov, K.A. Serpuhovitina, E.N. Hudaverdov. - Krasnodar, 2002. - 122 p. [in Russian]
10. Keller M. Cluster Thinning Effects on Three Deficit-Irrigated Vitis vinifera Cultivars / Keller Markus, Mills Lynn J., Wample Robert L. // Am. J. Enol. Vitic. 2005. 56. № 6. P. 91-103.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.024>

НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО РЫБОЛОВСТВА

Обзорная статья

Руденко Р.А.^{1,*}, Ткачёва И.В.²

¹ Донской государственной аграрный университет, Персиановский, Россия;

² Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия

* Корреспондирующий автор (6195756[at]mail.ru)

Аннотация

Рыболовство является основным источником продовольствия для человечества и обеспечивает занятость и экономические выгоды для широких слоев населения земли. В качестве источника пищи он обеспечивает около 20 процентов потребления животного белка. В настоящее время общий объем мирового производства рыбного промысла составляет около 95 миллионов тонн. Около 70 процентов рыбной продукции непосредственно используется для потребления человеком, в то время как остальные 30 процентов — это рыбная мука, используемая в производстве кормов для животных. Рыбалка - древнее занятие. Около 200 миллионов человек прямо или косвенно вовлечены в эту отрасль. Пятьдесят миллионов человек, из которых 12,5 миллиона являются рыбаками, и члены их семей напрямую зависят от рыболовства в качестве источника средств к существованию. Еще 150 миллионов человек вовлечены в деятельность по приемке на берегу, переработке и сбыту рыбы и рыбной продукции. Рыболовство вносит значительный вклад в валютные поступления многих развивающихся стран.

Ключевые слова: рыболовство, аквакультура, рыбная ловля, рыбоводство.

SOME CURRENT TRENDS IN INDUSTRIAL FISHING TECHNOLOGY

Review article

Rudenko R.A.^{1,*}, Tkachyova I.V.²

¹ Don State Agrarian University, Persianovsky, Rostov Oblast, Russia;

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author (6195756[at]mail.ru)

Abstract

Fishing is one of the main sources of food for humanity and provides employment and economic benefits for large segments of the world's population. As a food source, it provides about 20 percent of animal protein intake. At present, the total volume of global fisheries production is about 95 million tons. About 70 percent of fish products are directly used for human consumption, while the remaining 30 percent is fish meal used in the production of animal feed. Fishing is an ancient occupation with up to 200 million people directly or indirectly involved in it. Fifty million people, of whom 12.5 million are fishermen, and their family members are directly dependent on fishing as a source of livelihood. Another 150 million people are involved in onshore acceptance, processing and marketing of fish and fish products. Fishing makes a significant contribution to the foreign exchange earnings of many developing countries.

Keywords: fishing, aquaculture, fishing, fish farming.

Введение

Мировой рыболовный флот насчитывал около 3,8 миллиона судов (2020 год). Около одной трети из них были палубными судами, остальные две трети были непалубными судами, как правило, менее 10 м в длину [1]. Существует большое разнообразие рыболовных судов, работающих по всему миру, которые могут варьироваться от 2-метровых каноэ до заводских траулерах длиной более 130 метров, где продолжительность плавания составляет от нескольких часов до более года. Внедрение ледового и холодильного оборудования значительно повысило способность судов обрабатывать и хранить рыбу в хорошем состоянии на борту. Технологические разработки, такие как оптимизация конструкции корпуса, улучшение характеристик двигателя, включая турбонаддув, гидравлическое тяговое оборудование, усовершенствованное навигационное оборудование, электроника для поиска рыбы, также оказали значительное влияние на эффективность и прибыльность рыболовных судов. Внедрение и широкое использование подвесного двигателя значительно изменило мелкомасштабные рыболовные операции в развивающихся странах [2].

На рыболовных судах произошли значительные изменения в материалах судов, оптимизации корпуса, производительности двигателей, двигательных установках, оборудовании для обработки снастей и улова, палубном оборудовании, системах предварительной обработки, обработки, консервации и упаковки, а также энергосбережении. На современных крупных рыболовных судах командная консоль напоминает кабину самолета. Элементы управления навигацией и основные дисплеи отображаются на мониторах перед позицией управления, и все чаще они отображаются на одном большом встроенном дисплее. Приборы включают навигационные приборы, которые используются для навигации судна в море и в гавани, другие приборы, используемые для обнаружения рыбы и во время промысловой операции, включая гидролокатор и электронные средства для эксплуатации, радиосвязь, которая важна для безопасности и для общей связи [3].

Материалы для рыболовных снастей

Традиционные орудия лова, использовавшиеся в прежние годы, были менее эффективными при низкой производительности. Раньше они изготавливались из натуральных волокон, таких как хлопок, манила, сизаль, джут и кокосовая койра. Поскольку эти материалы подвержены биологическому разложению, они имеют относительно короткий срок службы и требуют больших затрат на техническое обслуживание. В последние десятилетия произошли значительные успехи в технологии волокон, наряду с внедрением других современных материалов. С появлением

искусственных синтетических волокон в Индии в конце 1950-х годов натуральные волокна, используемые для орудий лова, были заменены этими синтетическими материалами из-за их высокой прочности на разрыв, высокой стойкости к атмосферным воздействиям, низких затрат на техническое обслуживание, длительного срока службы и лучшей однородности характеристик. Наиболее важными синтетическими волокнами, используемыми в рыболовстве, являются полиамид (РА), полиэстер (PES), полиэтилен (PE) и полипропилен (PP) [4].

Недавно были представлены новые материалы с более высокой прочностью на растяжение, такие как полиэтилен сверхвысокой молекулярной массы (СВМПЭ) «дупеета», который в 15 раз прочнее стали. Внедрение синтетических материалов с высокими прочностными свойствами на разрыв позволило внести изменения в конструкцию и размеры рыболовных сетей. Ранее сетка

3 в основном изготавливалась вручную, что является трудоемким процессом. В последние годы сетки машинного изготовления почти повсеместно используются при изготовлении рыболовных сетей [5].

Рыболовные снасти

Для вылова рыбы используется широкий спектр орудий лова и методов, начиная от мелкомасштабных кустарных и заканчивая крупномасштабными промышленными системами. На протяжении многих лет традиционные орудия лова были модернизированы, и были внедрены новые, более эффективные системы лова. Наиболее важными среди этих орудий лова являются тралы, кошельковые неводы, лески, жаберные сети и запутывающие сети и ловушки [6]. К числу наиболее значительных событий, повлиявших на историческую эволюцию орудий лова и методов их использования, относятся развитие технологии промысла и механизации движителей, орудий лова и обработки улова, внедрение синтетических материалов для орудий лова, развитие методов акустического обнаружения рыбы на основе спутникового дистанционного зондирования, достижения в области электронной навигации и оборудования для определения местоположения, осознание необходимости ответственного рыболовства для обеспечения устойчивости ресурсов, защиты биоразнообразия и экологической безопасности и энергоэффективности.

Акустическое обнаружение рыбы и методы дистанционного зондирования на основе спутников

Наиболее известными и широко используемыми приборами для обнаружения рыбы являются эхолот и гидролокатор. Эхолоты используются для регистрации глубины в навигационных целях и определения местоположения, различения грунта или морского дна, т.е. для различения мягкого ила, песка, гравия и скального дна, определения контура морского дна, местоположения затонувших судов и опасных зон, местоположения рыбы и определения глубины ее залегания. Технологические достижения в области электроники и исследования в области подводной акустики привели к огромным усовершенствованиям эхолота и гидролокатора и сделали их более надежными и доступными. В настоящее время широко используются удобные интерфейсы управления на основе микрокомпьютеров, управляемые меню. Возможности двойной и тройной частоты, недавно внедренные в эхолоты, значительно улучшили как обнаружение, так и дифференциацию отдельных видов рыб [7].

Гидролокатор — это аббревиатура для звуковой навигации и определения дальности. Гидролокатор является незаменимым инструментом для траления и кошелькового невода. Гидролокатор можно описать как эхолот горизонтального сканирования. Его датчик закреплен на трубе, которую можно опускать или поднимать изнутри большего цилиндра, расположенного под корпусом, и может сканироваться с любой стороны судна или на 360° со свободным обзором во всех направлениях. Гидроакустический преобразователь может быть наклонен вверх и вниз от +10 до -90°. Вылет и наклон управляются дистанционно с палубы. Информация отображается на дисплее в кабинете оператора [8].

Ответственная рыбалка

До второй мировой войны, когда промысловое давление было умеренной интенсивности, бытовало мнение, что рыбные ресурсы неисчерпаемы. Динамичное развитие технологий добычи и переработки рыбы произошло в послевоенную эпоху. Внедрение мощных и высокоэффективных систем сбора рыбы и методов обнаружения рыбы, а также неконтролируемое увеличение размеров флота, вызванное постоянно растущим рыночным спросом на рыбу, привели к усилению давления на мировые рыбные ресурсы. В последние годы все чаще проявляются явные признаки чрезмерного вылова рыбы и негативного воздействия на экосистемы, что подчеркивает необходимость научного управления мировыми рыбными ресурсами в целях обеспечения их долгосрочной устойчивости и доступности для будущих поколений. Ответственное рыболовство обеспечит долгосрочную устойчивость ресурсов, сведет к минимуму негативное воздействие на окружающую среду и защитит биоразнообразие [9].

Принятие Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву в 1982 году предоставило прибрежным государствам исключительные права и обязанности по управлению ресурсами в Исключительных экономических зонах (ИЭЗ). ИЭЗ, простирающиеся на 200 морских миль от береговой линии, охватывают 90 процентов мировых рыбных ресурсов. В 1992 году, основываясь на оценке состояния мирового рыболовства, Комитет ФАО по рыболовству рекомендовал разработать концепции, которые привели бы к ответственному развитию рыболовства. Международная конференция по ответственному рыболовству, состоявшаяся в том же году в Канкуне, Мексика, подчеркнула необходимость разработки Международного кодекса ведения ответственного рыболовства. Последующие усилия в этом направлении привели к принятию Кодекса ведения ответственного рыболовства Конференцией ФАО в октябре 1995 года. Кодекс ведения ответственного рыболовства носит добровольный и глобальный характер. В нем изложены принципы и международные стандарты поведения в отношении ответственной рыбной ловли для обеспечения долгосрочной устойчивости рыбных ресурсов. Он охватывает сохранение, управление и развитие рыболовства; вылов, переработку и торговлю рыбой и рыбопродуктами, аквакультуру, исследования в области рыболовства и интеграцию рыболовства в управление прибрежными районами [10].

Общие принципы, изложенные в статье 6 Кодекса, говорят о том, что следует предотвращать перелов и избыточные промысловые мощности. Промысловые мощности должны быть соизмеримы с максимальной устойчивой добычей ресурсов, должны быть предприняты меры по восстановлению ресурсов там, где это возможно. Безопасные орудия лова и методы должны быть дополнительно разработаны и применены в целях сохранения ресурсов и защиты биоразнообразия и минимизации отходов. Направления, связанные с использованием и разработкой орудий, а также методов лова, описанных в Кодексе, сосредоточены на селективных орудиях и методах лова, экологически чистых орудиях лова, энергосбережении при добыче и увеличении ресурсов.

Заключение

Поскольку рыба и биоресурсы являются важнейшими в питании человека, рыбная добыча еще долгие годы будет являться одной из важнейших составляющих пищевой отрасли. В тоже время развитие технологий вплотную приблизило нас к той черте, за которой самостоятельное восстановление биоресурсов будет невозможно, если человечество продолжит вылов в тех же объемах.

Таким образом сейчас настало время думать не только о том, как увеличить вылов биоресурсов, но и о том, как их преумножить и сохранить.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шивокене Я.С. Численность и биомасса бактерий пищеварительного тракта прудовых рыб в зависимости от особенностей их питания / Я.С. Шивокене, О.П. Трешене // Вопросы ихтиологии. - 1995.- Т.25, вып. 5. - С.821-827.
2. Шендеров Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание / Б.А. Шендеров. – М.:, 1998. -413 с.
3. Фермерская аквакультура: Рекомендации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 192 с.
4. Абросимова Н.А. Липидная добавка для корма осетровых рыб / Н.А. Абросимова, Е.Г. Белов, Е.М. Саенко и др.- А.с. N 1585909 /СССР/. – 2010. – ДСП.- 9 с.
5. Антипов В.А. Эффективность и перспективы применения пробиотиков / В.А. Антипов, В.М. Субботин // Ветеринария. – 2009. - №12. – С. 12 – 16.
6. Баденко Л. В. Выращивание двухгодовика севрюги на искусственных кормах с применением антибиотиков / Л. В. Баденко, Ю. С. Велокопытин, Т.Ф. Шувалова // Научно-техн. информ. ВНИРО, 2007, N11.-С.56-65.
7. Баталова Т.А. Коррекция нормофлоры кишечника человека / Т.А. Баталова, Д.Н. Лазарева, Л.М. Голубева // Материалы науч. – практич. конф. – Уфа, 2013. – С. 14 -17.
8. Бергнер Х.Р. Научные основы питания сельскохозяйственных животных / Х.Р. Бергнер, Х.А. Кетц; Пер. с нем. М.: Колос, 2013.- 597 с.
9. Берман Ш. А. Исследования о роли антибиотиков в кормлении карпа / Ш. А. Берман.- Известия АН Латв. ССР, 2016, N3.- С.151-154.
10. Бондаренко Л.Г. Стартовый комбикорм для рыб / Л.Г. Бондаренко, И.А. Бурцев, Т.А. Орлова. - А.с. N 1084005 /СССР/.- 2017.
11. Butler N. The transition from fossil fuels, Sustainable Energy / N. Butler // Cambridge Energy Forum. 2019.
12. Day J.G. In vitro Culture and Conservation of Microalgae: Applications for Aquaculture, Biotechnology and Environmental Research / John G Day, Erica E, Benson, Roland A, Fleck // In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant, 35(2): 127-136.
13. Olaizola M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace / M. Olaizola // Biomolecular Engineering, 20: 459-466.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shivokene Ja.S. Chislennost' i biomassa bakterij pishhevaritel'nogo trakta prudovyh ryb v zavisimosti ot osobennostej ih pitaniya [The Number and Biomass of Bacteria in the Digestive Tract of Pond Fish, Depending on the Characteristics of Their Nutrition] / Ja.S. Shivokene, O.P. Treshene // Voprosy ihtologii [Questions of Ichthyology]. - 1995.- Vol.25, Issue 5. - pp. 821-827. [in Russian]
2. Shenderov B.A. Medicinskaja mikrobnaia jekologija i funkcional'noe pitanie [Medical Microbial Ecology and Functional Nutrition]. / B.A. Shenderov – M.:, 1998. - p. 413 [in Russian]
3. Fermerskaja akvakul'tura: Rekomendacii [Farm Aquaculture: Recommendations]. – M.: FGNU "Rosinformagroteh", 2007. – p. 192 [in Russian]
4. Abrosimova N.A. Lipidnaja dobavka dlja korma osetrovyh ryb [Lipid Additive for Sturgeon Fish Feed]. / N.A. Abrosimova, E.G. Belov, E.M. Saenko et al. - A.s. N 1585909 /SSSR/. – 2010. – DSP.- p. 9 [in Russian]
5. Antipov V.A. Jefferektivnost' i perspektivy primenenija probiotikov [Efficiency and Prospects of Probiotics Application] / V.A. Antipov, V.M. Subbotin // Veterinarija [Veterinary Medicine]. – 2009. - №12. – pp. 12 – 16. [in Russian]
6. Badenko L. V. Vyrashhivanie dvuhgodovika sevrjugi na iskusstvennyh kormah s primeneniem antibiotikov. [Cultivation of Two-Year-Old Sevryuga on Artificial Feeds With the Use of Antibiotics] / L. V. Badenko, Ju. S. Velokopytin, T.F. Shuvalova // Nauchno-tehn. inform. VNIRO, 2007, N11.- pp. 56-65. [in Russian]
7. Batalova T.A. Korrekcija normoflory kishechnika cheloveka [Correction of the Normoflora of the Human Intestine] / T.A. Batalova, D.N. Lazareva, L.M. Golubeva // Materialy nauch. – praktich. konf. [Materials of Scientific and Practical Conference] – Ufa, 2013. – pp. 14-17. [in Russian]
8. Bergner H.R. Nauchnye osnovy pitaniya sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh [Scientific Bases of Nutrition of Farm Animals] / H.R. Bergner, H.A. Ketz // Translated from German, M.: Kolos, 2013.- p. 597 [in Russian]

9. Berman Sh. A. Issledovanija o roli antibiotikov v kormlenii karpa [Research on the Role of Antibiotics in Carp Feeding]. / Sh. A. Berman // - Izvestija AN Latv. SSR [Bulletin of the Academy of Sciences of the Latvian SSR], 2016, N3.- pp. 151-154. [in Russian]
10. Bondarenko L.G. Startovyy kombikorm dlja ryb [Starter Compound Feed for Fish]. / L.G. Bondarenko, I.A. Burcev, T.A. Orlova - A.s. N 1084005 /SSSR/.- 2017. [in Russian]
11. Butler N. The transition from fossil fuels, Sustainable Energy / N. Butler // Cambridge Energy Forum. 2019.
12. Day J.G. In vitro Culture and Conservation of Microalgae: Applications for Aquaculture, Biotechnology and Environmental Research / John G Day, Erica E, Benson, Roland A, Fleck // In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant, 35(2): 127-136.
13. Olaizola M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace / M. Olaizola // Biomolecular Engineering, 20: 459-466.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.025>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННОГО МЯСА

Обзорная статья

Руденко Р.А.^{1,*}, Ткачёва И.В.²

¹ Донской государственной аграрный университет, Персиановский, Россия;

² Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия

* Корреспондирующий автор (6195756[at]mail.ru)

Аннотация

Чтобы удовлетворить растущий спрос на продукты питания растущего населения, культивируемое мясо (также называемое искусственным или выращенным в лабораторных условиях мясом) представлено его сторонниками в качестве хорошей альтернативы для потребителей, которые хотят быть более ответственными, но не желают менять свой рацион. Этот обзор направлен на обновление текущих знаний по этому вопросу, сосредоточив внимание на последних публикациях и проблемах, которые не были хорошо описаны ранее. Главный вывод состоит в том, что, несмотря на множество новых публикаций, никаких серьезных сдвигов не наблюдалось. Действительно, с точки зрения технических вопросов, все еще необходимы исследования для оптимизации методологии культивирования клеток мяса.

Также практически невозможно воспроизвести разнообразие мяса, полученного из различных видов, пород и отрубов. Хотя они еще не известны, мы размышляли о потенциальных преимуществах и недостатках культивируемого мяса для здоровья. В отличие от обычного мяса, культивируемые мышечные клетки могут быть безопаснее для органов пищеварения. С другой стороны, при таком высоком уровне размножения клеток вероятно некоторая дисрегуляция, как это происходит в раковых клетках. Аналогичным образом, контроль за его питательным составом все еще неясен, особенно в отношении микроэлементов и железа. Что касается экологических проблем, то потенциальные преимущества выращенного мяса касаясь выбросов парниковых газов все еще являются предметом споров. Хотя при производстве искусственного мяса будет использоваться меньше земли по сравнению с выращиванием домашнего скота, в частности крупного рогатого. Однако необходимо так же учесть все энергозатраты на производство «мяса из пробирки».

Ключевые слова: животноводство, искусственное мясо, выращивание мяса.

MODERN TECHNOLOGIES OF ARTIFICIAL MEAT PRODUCTION

Review article

Rudenko R.A.^{1,*}, Tkachyova I.V.²

¹ Don State Agrarian University, Persianovsky, Rostov Oblast, Russia;

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author (6195756[at]mail.ru)

Abstract

To meet the growing demand for food from a growing population, cultured meat (also known as artificial or lab-grown meat) is described by its supporters as a good alternative for consumers who want to be more responsible but do not want to change their diet. This review aims to update current knowledge on the subject by focusing on recent publications and issues that have not been well explored previously. The authors conclude that, despite many new publications, no major changes have been observed. Indeed, from the point of view of technical issues, optimizing the methodology of culturing meat cells still requires research.

It is also almost impossible to reproduce the variety of meat obtained from different species, breeds and cuts. The authors discuss the potential health benefits and disadvantages of cultured meat, which are not yet known. Unlike regular meat, cultured muscle cells may be safer for the digestive system. On the other hand, with such a high level of cell reproduction, some dysregulation is likely, as it happens in cancer cells. Similarly, the control of its nutritional composition is still unclear, especially with regard to trace elements and iron. As for environmental issues, the potential benefits of farmed meat in terms of greenhouse gas emissions are still a matter of debate. Although the production of artificial meat does require less land compared to the cultivation of livestock, in particular cattle, it is also necessary to take into account all energy costs for the production of such products.

Keywords: animal husbandry, artificial meat, meat cultivation.

Введение

Ожидается, что к 2050 году население планеты, составляющее сегодня 7,3 миллиарда человек, превысит 9 миллиардов. Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО) прогнозирует, что в 2050 году для удовлетворения потребностей растущего населения потребуется на 70 % больше продовольствия, что является серьезной проблемой из-за ограниченности ресурсов и пахотных земель. Даже если потребление мяса сокращается в развитых странах, его глобальное потребление растёт, потому что потребители, как правило, не желают сокращать потребление мяса, особенно в развивающихся странах, таких как Китай, Индия и Россия [1]. Эти группы населения все больше становятся представителями среднего класса, они ищут больше предметов роскоши, таких как мясо или другие продукты животного происхождения (например, сыр, молочные продукты).

Системы животноводства будут способствовать решению проблемы глобальной продовольственной безопасности и безопасности питания в мире [2]. Животноводство должно производить большее количество высококачественного и доступного мяса, молока и яиц с помощью производственных систем, которые являются экологически безопасными, социально ответственными и экономически жизнеспособными. Несмотря на широкий спектр новых разработок в области искусственного воспроизведения продуктов питания, в настоящее время значительная доля скота

выращивается в рамках модели промышленного животноводства. Несмотря на меньший вклад в выбросы парниковых газов (ПГ) и водопотребление, чем в экстенсивном сельском хозяйстве, факторное сельское хозяйство в основном ориентировано на эффективность (т. е. количество производимого молока или мяса), а не на другие параметры, такие как воздействие на окружающую среду, изменение климата, меньшее использование антибиотиков, благополучие животных и т.д. [3].

Как следствие, разрабатываются более эффективные способы производства белка для поддержания растущего населения планеты при одновременном решении современных проблем, таких как проблемы охраны окружающей среды и благополучия животных. Среди решений культивируемое мясо представлено его сторонниками в качестве устойчивой альтернативы для потребителей, которые хотят быть более ответственными, но не желают менять состав своего рациона.

С момента первой публикации о выращенном мясе в 2008 году количество публикаций значительно возросло (89 % от общего числа) после 2013 года. В августе того же года был приготовлен и попробован в телевизионной программе первый гамбургер, приготовленный из культивируемого мяса.

Производство искусственного мяса

Цель этого процесса состоит в том, чтобы воссоздать сложную структуру мышц домашнего скота с помощью нескольких клеток. Биопсия берется у живого животного. Этот кусок мышцы будет разрезан, чтобы высвободить стволовые клетки, которые обладают способностью к размножению, но также могут трансформироваться в различные типы клеток, такие как мышечные клетки и жировые клетки [4].

Клетки начнут делиться после того, как их культивируют в соответствующей питательной среде, которая обеспечит питательными веществами, гормонами и факторами роста. Известно, что лучшая среда содержит фетальную бычью сыворотку (FBS), сыворотку, изготовленную из крови теленка, которая будет ограничивать скорость роста клеток.

Можно вырастить более одного триллиона клеток, и эти клетки естественным образом сливаются, образуя миотрубки длиной не более 0,3 мм; затем миотрубки помещаются в кольцо, превращающееся в небольшой кусочек мышечной ткани, как описано в различных обзорах.

Этот кусок мышцы может размножаться до более чем триллиона нитей. Эти волокна прикреплены к губчатому каркасу, который наполняет волокна питательными веществами и механически растягивает их, “тренируя” мышечные клетки, чтобы увеличить их размер и содержание белка. Основываясь на этом процессе, потребуется меньше животных для производства огромного количества мяса из-за пролиферации клеток, что позволит избежать убийства как слишком большого количества животных, так и потенциально большого количества телят, если FBS все еще будет использоваться [5].

На протяжении всего этого процесса клетки содержатся в контролируемой среде, которая воспроизводит температуру внутри тела коровы, например, для ускорения развития мяса, выращенного в лаборатории.

Одной из первоначальных проблем с этим типом культуры является используемая сыворотка, так как мясо *in vitro* должно быть безубойным. Поэтому нонсенс использовать средство, изготовленное из крови убитых телят. Кроме того, эта сыворотка является дорогостоящей и в значительной степени влияет на себестоимость производства мяса. Одна из главных целей лабораторных стартапов (около 25-30) на момент написания этой статьи, разбросанных по всему миру и работающих над выращенным мясом, состоит в том, чтобы найти более дешевую среду, полученную из растительных ингредиентов и такую же эффективную, как FBS.

По-видимому, эта проблема была решена, по крайней мере, в лабораторных условиях. Как только эта проблема будет решена в промышленных масштабах (и она, вероятно, будет решена), мясо *in vitro* может стать конкурентоспособным с точки зрения производственных затрат и этики животных по сравнению с обычным мясом домашнего скота. В дополнение к FBS обычно используются антибиотики и фунгициды, чтобы избежать загрязнения клеточных культур. Все стартапы утверждают, что эта проблема также была решена.

Однако, поскольку сельскохозяйственные животные, как и все млекопитающие, включая людей, естественным образом вырабатывают гормоны и факторы роста для поддержания собственного роста, культура клеток нуждается в гормонах, факторах роста и т.д. в питательной среде для поддержания пролиферации и дифференцировки клеток [6].

В настоящее время перед исследователями стоят следующие вопросы: как эти соединения могут быть произведены в промышленных масштабах и как можно гарантировать, что ни одно из них не окажет негативного воздействия на здоровье человека в краткосрочной и долгосрочной перспективе? Это важный вопрос, поскольку гормональные стимуляторы роста запрещены в системах ведения сельского хозяйства для традиционного производства мяса в Европейском Союзе (в отличие от некоторых других частей мира).

Наконец, мы все еще далеки от настоящих мышц, которые состоят из организованных волокон, кровеносных сосудов, нервов, соединительной ткани и жировых клеток. Вот почему различные стартапы, работающие в этой области, разработали разные стратегии: некоторые из них работают со стволовыми клетками или мышечными клетками для воспроизведения неорганизованных мышечных волокон, что является самым простым подходом, в то время как другие пытаются воспроизвести тонкие срезы мышц (т.е. мышечные волокна и другие типы клеток, довольно хорошо переплетенные вместе). Тем не менее, производство толстого куска мяса, похожего на настоящий стейк, по-прежнему остается мечтой, из-за необходимости перфузии кислорода внутри мяса, чтобы имитировать диффузию кислорода, как это происходит в реальных тканях [7].

Кроме того, трудно представить, что производители лабораторного мяса в ближайшем будущем смогут предложить потребителям широкий ассортимент мяса, отражающего разнообразие мышц или отрубов животных. Действительно, органолептическое качество (т. е. вкус) мяса различается у разных видов (свинина, домашняя птица, овцы, крупный рогатый скот и т. Д.), а также внутри вида, между породами, полами, типами животных (т. е. молодыми бычками, бычками, телками и коровами в случае крупного рогатого скота), условиями ведения сельского хозяйства (в зависимости, например, от места разведения) и главным образом, между мышцами с различным анатомическим

расположением. Таким образом, многие сложные процессы все еще нуждаются в контроле, чтобы сделать мясо *in vitro* более привлекательным для потребителей, как это в большей или меньшей степени относится к любому другому новому пищевому продукту [8].

Здоровье и безопасность

Сторонники мяса *in vitro* утверждают, что оно безопаснее обычного мяса, основываясь на том факте, что выращенное в лаборатории мясо производится в среде, полностью контролируемой исследователями или производителями, без какого-либо другого организма, тогда как обычное мясо является частью животного, находящегося в контакте с внешним миром, хотя каждая ткань (включая мышцы) защищена кожей и/или слизистой оболочкой. Действительно, без каких-либо органов пищеварения поблизости (несмотря на то, что обычное мясо обычно защищено от этого) и, следовательно, без какого-либо потенциального загрязнения при убое, культивированные мышечные клетки не имеют возможности столкнуться с кишечными патогенами, такими как кишечная палочка, сальмонелла или кампилобактерия - три патогена, которые ответственны за миллионы заболеваний каждый год [9].

Еще одним положительным аспектом, связанным с безопасностью культивированного мяса, является то, что оно не производится из животных, выращенных в замкнутом пространстве, что исключает риск эпидемии и нет необходимости в дорогостоящих вакцинациях против таких заболеваний как грипп. С другой стороны, мы можем утверждать, что именно клетки, а не животные, в большом количестве живут в инкубаторах для производства культивированного мяса. К сожалению, мы не знаем всех последствий мясной культуры для здоровья населения, так как мясо *in vitro* является новым продуктом. Некоторые авторы утверждают, что процесс культивирования клеток никогда не контролируется полностью и что могут возникнуть некоторые неожиданные биологические механизмы. Например, учитывая большое количество происходящих размножений клеток, вероятно, произойдет некоторое нарушение регуляции клеточных линий, как это происходит в раковых клетках. Это может иметь неизвестные потенциальные последствия для структуры мышц и, возможно, для метаболизма и здоровья человека при употреблении мяса *in vitro* [10].

Заключение

Поскольку рыба и биоресурсы являются важнейшими в питании человека, рыбная добыча еще долгие годы будет являться одной из важнейших составляющих пищевой отрасли. В тоже время развитие технологий вплотную приблизило нас к той черте, за которой самостоятельное восстановление биоресурсов будет невозможно, если человечество продолжит вылов в тех же объемах.

Таким образом сейчас настало время думать не только о том, как увеличить вылов биоресурсов, но и о том, как их преумножить и сохранить.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Богатова О.В. Современные биотехнологии в сельском хозяйстве / О.В. Богатова, Г.В. Карпова, М.Б. Ребезов и др. – Оренбург, 2012. – С. 10-17.
2. Григорьева Е.В. Рост и развитие цыплят-бройлеров при использовании олина / Е.В. Григорьева, Л.Ю. Топурия // Разработка и освоение инноваций в животноводстве материалы Международной научно-практической конференции / Под ред. В.И. Левахина. – Оренбург, 2013. – С. 145-147.
3. Григорьева Е.В. Состояние минерального обмена у цыплят-бройлеров под действием пробиотика олин / Е.В. Григорьева, Л.Ю. Топурия // Вестник ветеринарии. – 2011. – № 4 (59). – С. 128-129.
4. Губер Н.Б. Биологический статус бычков, выращиваемых на мясо, на фоне применения биостимулятора / Н.Б. Губер, Е.А. Переходова, Н.Н. Максимюк и др. // Молодой ученый. – 2013. – № 11. – С. 246-248.
5. Губер Н.Б. Этологическая реактивность бычков при использовании биостимулятора / Н.Б. Губер, Е.А. Переходова, Л.Ю. Топурия // Молодойученый. – 2013. – № 11. – С. 243-245.
6. Губер Н.Б. Биотехнологические приемы повышения производства говядины в сельском хозяйстве / Н.Б. Губер, Л.Ю. Топурия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2013. – Т. 1, № 2. – С. 4-9.
7. Губер Н.Б. Биологическая ценность мясной продукции при использовании биологически активных веществ / Н.Б. Губер, А.З. Шакирова, Л.Ю. Топурия // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 10-1 (17). – С. 96-97.
8. Донник И.М. Применение гермивита в животноводстве и ветеринарии / И.М. Донник, И.А. Шкуратова, И.А. Рубинский и др. – Оренбург, 2010. – С. 25-28.
9. Донник И.М. Влияние гувитана-С на состояние иммунного статуса хряков / И.М. Донник, И.А. Шкуратова, Л.Ю. Топурия // Ветеринария Кубани. – 2014. – № 3. – С. 17-19.
10. Донник И.М. Коррекция иммунобиохимического статуса у утят / И.М. Донник, И.А. Шкуратова, Л.Ю. Топурия // Ветеринария Кубани. – 2013. – № 6. – С. 6-8.
11. Tobler C. Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors / C. Tobler, V.H.M. Visschers, M. Siegrist // *Appetite*. (2011) 57:674–82. DOI: 10.1016/j.appet.2011.08.010
12. Willett W. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems / W. Willett, J. Rockstrom, B. Loken et al. // *Lancet*. (2019) 393:447–92. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31788-4
13. Scollan N.D. Future research priorities for animal production in a changing world. / N.D. Scollan, P.L. Greenwood, C.J. Newbold et al. // *Anim Prod Sci*. (2011) 51:1–5. DOI: 10.1071/AN10051

14. Ryschawy J. Review: an integrated graphical tool for analysing impacts and services provided by livestock farming / J. Ryschawy, B. Dumont, O. Therond et al. // *Animal*. (2019) 13:1760–72. DOI: 10.1017/S1751731119000351

15. Steinfeld H. Livestock's Long Shadow / H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar et al. 2006. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm> (accessed 16.07.2019).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bogatova O.V. Sovremennye biotekhnologii v sel'skom hozjajstve [Modern Biotechnologies in Agriculture]. / O.V. Bogatova, G.V. Karpova, M.B. Rebezov et al. – Orenburg, 2012. – pp. 10-17. [in Russian]

2. Grigor'eva E.V. Rost i razvitie cypljat-brojlerov pri ispol'zovanii olin [Growth and Development of Broiler Chickens Using Olin] // Razrabotka i osvoenie innovacij v zhivotnovodstve materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Development and Development of Innovations in Animal Husbandry Materials of the International Scientific and Practical Conference] / E.V. Grigor'eva, L.Ju. Topurija; Edited by V.I. Levahina. – Orenburg, 2013. – pp. 145-147. [in Russian]

3. Grigor'eva E.V. Sostojanie mineral'nogo obmena u cypljat-brojlerov pod dejstviem probiotika olin [The State of Mineral Metabolism in Broiler Chickens Under the Action of Probiotic Olin] / E.V. Grigor'eva, L.Ju. Topurija // Vestnik veterinarii [Bulletin of Veterinary Medicine]. – 2011. – № 4 (59). – pp. 128-129. [in Russian]

4. Guber N.B. Biologicheskij status bychkov, vyrashhivaemyh na mjaso, na fone primenenija biostimuljatora [The Biological Status of Bulls Raised for Meat Against the Background of the Use of a Biostimulator] / N.B. Guber, E.A. Pepehodova, N.N. Maksimjuk et al. // Molodoj uchenyj [Young Scientist]. – 2013. – № 11. – pp. 246-248. [in Russian]

5. Guber N.B. Jetologicheskaja peaktivnost' bychkov ppi ispol'zovanii biostimuljatora [Ethological Reactivity of Bulls When Using a Biostimulator] / N.B. Guber, E.A. Pepehodova, G.M. Topurija et al. // Molodoj uchenyj [Young Scientist]. – 2013. – № 11. – pp. 243-245. [in Russian]

6. Guber N.B. Biotehnologicheskie priemy povyshenija proizvodstva govjadiny v sel'skom hozjajstve [Biotechnological Techniques for Increasing Beef Production in Agriculture] / N.B. Guber, G.M. Topurija // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Pishhevye i biotekhnologii. [Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology.] – 2013. – Vol. 1, № 2. – pp. 4-9. [in Russian]

7. Guber N.B. Biologicheskaja cennost' mjasnoj produkcii pri ispol'zovanii biologicheski aktivnyh veshhestv [Biological Value of Meat Products When Using Biologically Active Substances] / N.B. Guber, A.Z. Shakirova, G.M. Topurija // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. – 2013. – № 10-1 (17). – pp. 96-97. [in Russian]

8. Donnik I.M. Primenenie germivita v zhivotnovodstve i veterinarii [Application of Germivite in Animal Husbandry and Veterinary Medicine]. / I.M. Donnik, I.A. Shkuratova, I.A. Rubinskij et al. – Orenburg, 2010. – pp. 25-28. [in Russian]

9. Donnik I.M. Vlijanie govitana-S na sostojanie immunnogo statusa hrjakov [The Influence of Guvitan-S on the State of the Immune Status of Boars] / I.M. Donnik, I.A. Shkuratova, L.Ju. Topurija et al. // Veterinarija Kubani [Veterinary Medicine of Kuban]. – 2014. – № 3. – pp. 17-19. [in Russian]

10. Donnik I.M. Korrekcija immunobiohimicheskogo statusa u utjat [Correction of Immunobiochemical Status in Ducklings] / I.M. Donnik, I.A. Shkuratova, L.Ju. Topurija et al. // Veterinarija Kubani [Veterinary Medicine of Kuban]. – 2013. – № 6. – pp. 6-8. [in Russian]

11. Tobler C. Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors / C. Tobler, V.H.M. Visschers, M. Siegrist // *Appetite*. (2011) 57:674–82. DOI: 10.1016/j.appet.2011.08.010

12. Willett W. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems / W. Willett, J. Rockstrom, B. Loken et al. // *Lancet*. (2019) 393:447–92. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31788-4

13. Scollan N.D. Future research priorities for animal production in a changing world. / N.D. Scollan, P.L. Greenwood, C.J. Newbold et al. // *Anim Prod Sci*. (2011) 51:1–5. DOI: 10.1071/AN10051

14. Ryschawy J. Review: an integrated graphical tool for analysing impacts and services provided by livestock farming / J. Ryschawy, B. Dumont, O. Therond et al. // *Animal*. (2019) 13:1760–72. DOI: 10.1017/S1751731119000351

15. Steinfeld H. Livestock's Long Shadow / H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar et al. 2006. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm> (accessed 16.07.2019).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.026>

АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКОЙ ГОРИМОСТИ ЛЕСОВ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА И ПУТИ ЕЕ СНИЖЕНИЯ

Научная статья

Секерин И.М.¹, Ерицов А.М.², Залесов С.В.^{3,*}

¹ ORCID: 0000-0003-3493-4322;

² ORCID: 0000-0002-2756-5349;

³ ORCID: 0000-0003-3779-410X;

^{1,3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия;

² Авиалесоохрана, Москва, Россия

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

Аннотация

Проанализированы показатели фактической горимости лесов в Уральском Федеральном округе за 5-летний период по субъектам Российской Федерации. Установлено, что наиболее опасным в пожарном отношении был 2021 г. При этом в наибольшей степени от лесных пожаров пострадали Тюменская, Свердловская, Курганская и Челябинская области. Количество лесных пожаров и пройденная ими площадь в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах в 2021 г. остались на уровнях средних значений. Последнее позволило маневрировать лесопожарными формированиями.

На основании анализа данных о фактической горимости лесов даны предложения по совершенствованию охраны лесов от пожаров. В частности, отмечается необходимость усиления работы по противопожарному устройству лесного фонда особенно вокруг населенных пунктов и объектов экономики. Следует повысить оперативность переброски сил и средств пожаротушения в рамках Уральского Федерального округа и взаимодействие между местной администрацией, подразделениями МЧС и лесной охраной. Кроме того, назрела острая необходимость расширения научных исследований по разработке современной противопожарной техники, совершенствованию способов противопожарного устройства лесного фонда и тушения лесных пожаров разных видов.

Ключевые слова: Уральский Федеральный округ, горимость лесов, лесной пожар, противопожарное устройство.

ANALYSIS OF THE ACTUAL BURNING OF THE FORESTS IN THE URAL FEDERAL DISTRICT AND WAYS TO REDUCE IT

Research article

Sekerin I.M.¹, Eritsov A.M.², Zalesov S.V.^{3,*}

¹ ORCID: 0000-0003-3493-4322;

² ORCID: 0000-0002-2756-5349;

³ ORCID: 0000-0003-3779-410X;

^{1,3} Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russia;

² Avialesokhrana, Moscow, Russia

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

Abstract

The article touches upon the actual burning of the forests in the Ural federal district for a five-years period in the subjects of the Russian Federation. It was found that the most dangerous in terms of fire was 2021. At the same time, the Tyumen, Sverdlovsk, Kurgan and Chelyabinsk regions suffered the most from forest fires. The number of forest fires and the area covered by them in the Yamalo-Nenets and Khanty-Mansi autonomous okrugs in 2021 remained at the average level. The latter made it possible to maneuver with forest fighting formations.

Based on the analysis of the actual burning of the forests, proposals are made to improve the protection of forests from fires. In particular, the need to strengthen the work on the fire-prevention arrangement of the forest fund, especially around settlements and economic facilities is noted. The efficiency of forces and means of fire-fighting transfer in the framework of the Ural Federal district should be improved as well as interaction between the local administration, ministry of Emergency situations and Forest Luard. In addition, there is an urgent need to expand scientific research on modern fire-fighting equipment development, to improve the methods of fire-fighting arrangement in the forest fund and forest fires of various types extinguishing.

Keywords: the Ural Federal District, burning, of forest, forest fire, forest fire arrangement.

Введение

Пожарная обстановка, сложившаяся в 2021 г. в некоторых субъектах Российской Федерации, в очередной раз показала необходимость совершенствования работ по охране лесов от пожаров. Общеизвестно [1], [2], [3], что лесные пожары ежегодно наносят огромный ущерб лесному фонду и экономике нашей страны. В 2021 г. из-за продолжительной засухи в Якутии и на Южном Урале резко увеличилась потенциальная опасность развития низовых лесных пожаров в верховые и торфяные, что, в свою очередь, обусловило необходимость привлечения для борьбы с огнем дополнительных сил и средств пожаротушения.

Наблюдающиеся в последние десятилетия изменения климата [4], [5] требуют новых подходов к охране лесов от пожаров и поиска эффективных средств борьбы с огнем. Изменение стратегии охраны лесов от пожаров невозможно без тщательного анализа горимости лесов, эффективности их обнаружения и тушения, а также послепожарных последствий. Указанное обусловило направление наших исследований.

Цель, методика и объекты исследований

Целью исследований являлся анализ показателей фактической горимости лесов и эффективности их тушения в Уральском Федеральном округе и разработка на этой основе предложений по совершенствованию охраны лесов.

В процессе исследований анализировались статистические материалы о горимости лесов по субъектам РФ, а также другие научные и ведомственные материалы (лесные планы, лесохозяйственные регламенты, проекты противопожарного устройства, планы тушения лесных пожаров и др.). Авторы принимали непосредственное участие в тушении лесных пожаров, что позволило установить эффективность современных средств пожаротушения, а также тактических подходов к остановке и ликвидации лесных пожаров.

В качестве объекта исследований был выбран лесной фонд субъектов РФ, входящих в УрФО. В процессе исследований было проанализировано количество лесных пожаров и пройденная ими площадь, оперативность обнаружения и ликвидации, а также причины возникновения и доля крупных лесных пожаров. Особое внимание было уделено 2021 г., который для южных районов округа оказался экстремальным по лесопожарной обстановке.

Материалы и обсуждение

Длительное отсутствие сажкой в весенне-летний период 2021 г. привело к тому, что в условиях УрФО указанный год оказался экстремальным как по количеству лесных пожаров (табл. 1), так и по пройденной ими площади (табл. 2).

Таблица 1 – Количество лесных пожаров в лесном фонде УрФО за период с 2017 по 2021 гг.

Субъект РФ	Ед. измерения	Годы					Среднее за 5 лет
		2017	2018	2019	2020	2021	
Курганская область	шт	269	454	262	369	951	461
	%	14,6	23,2	17,9	16,9	22,1	19,6
Свердловская область	шт	304	378	236	423	1184	505
	%	16,5	19,4	16,2	19,4	27,5	21,5
Тюменская область	шт	130	131	119	222	657	252
	%	7,1	6,7	8,1	10,2	15,3	10,7
Челябинская область	шт	420	648	534	587	1086	655
	%	22,9	33,2	36,5	26,9	25,3	27,9
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	шт	387	226	214	470	328	325
	%	21,1	11,6	14,6	21,5	7,6	13,9
Ямало-Ненецкий автономный округ	шт	327	115	98	111	93	149
	%	17,8	5,9	6,7	5,1	2,2	6,4
Итого по УрФО	шт	1837	1952	1463	2182	4299	2347
	%	100	100	100	100	100	100

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что количество зафиксированных на территории УрФО лесных пожаров в 2021 г. в 1,83 раза превышает аналогичный показатель в среднем за 5 последних лет. При этом в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) и в Ханты-Мансийском автономном округе – Югра (ХМАО-Югра) количество лесных пожаров в 2021 г. оказалось аналогичным такому за последние 5 лет. Особенно существенно в 2021 г. возросла доля лесных пожаров в Тюменской и Свердловской областях.

Таблица 2 – Площадь, пройденная лесными пожарами в УрФО за период с 2017 по 2021 гг.

Субъект РФ	Ед. измерения	Годы					Среднее за 5 лет
		2017	2018	2019	2020	2021	
Курганская область	га	4037,3	7362,0	25642,8	2696,7	42629,2	16474
	%	1,4	15,7	55,8	1,6	12,1	9,2
Свердловская область	га	3128,8	4413,5	2209,8	9223,0	58060,6	15407
	%	1,1	9,4	4,8	5,5	16,4	8,6
Тюменская область	га	710,6	1339,3	2491,6	1550,1	192396,4	39698
	%	0,2	2,8	5,4	0,9	54,5	22,2
Челябинская область	га	3053,0	24321,9	9683,2	7064,9	41410,4	17107
	%	1,1	51,8	21,1	4,2	11,7	9,5
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	га	58517,2	6651,3	4162,3	144740,2	17595,2	46333
	%	20,7	14,2	9,0	86,6	5,0	25,8
Ямало-Ненецкий автономный округ	га	213694,3	2875,0	1795,1	1959,4	871,8	44239
	%	75,5	6,1	3,9	1,2	0,3	24,7
Итого по УрФО	га	283141,2	46963,0	45984,8	167234,3	352963,5	179257
	%	100	100	100	100	100	100

Помимо количества лесных пожаров выросла и пройденная огнем площадь. В целом по УрФО площадь лесных пожаров в 2021 г. превысила таковую в среднем за период с 2017 по 2021 гг. в 1,97 раза. При этом в Тюменской области площадь, пройденная огнем в 2021 г., превысила аналогичную величину за последние 5 лет в 4,85 раза.

Эффективность охраны лесов от пожаров во многом можно охарактеризовать величиной средней площади пожара (табл. 3).

Таблица 3 – Средняя площадь лесного пожара в УрФО за период с 2017 по 2021 гг.

Субъект РФ	Годы					Среднее за 5 лет, га
	2017, га	2018, га	2019, га	2020, га	2021, га	
Курганская область	15,0	16,2	97,9	7,3	44,8	35,7
Свердловская область	10,3	11,7	9,4	21,8	49,0	30,5
Тюменская область	5,5	10,2	20,9	7,0	292,8	157,5
Челябинская область	7,3	37,5	18,1	12,0	38,1	26,1
ХМАО-Югра	151,2	29,4	19,5	308,0	53,6	142,6
ЯНАО	653,5	25,0	18,3	17,7	9,4	296,9
УрФО	154,1	24,1	31,4	76,6	82,1	76,4

Данные, приведенные в табл. 3, позволяют сделать вывод, что эффективность охраны лесов от пожаров существенно различается по субъектам РФ. Так, в Челябинской области в течение всего периода исследований фиксируется максимальное количество лесных пожаров. При этом средняя площадь пожара за 5-летний период минимальна, что свидетельствует об эффективной работе лесопожарных служб.

В то же время в отдельные годы по различным объективным и субъективным причинам пожарная обстановка выходит из-под контроля. Для ЯНАО таким был 2017 г., когда площадь, пройденная огнем, составила 213,7 тыс. га при средней площади пожара 653,5 га.

Для ХМАО-Югры экстремальная пожарная обстановка сложилась в 2020 г., когда огнем было пройдено 144,7 тыс. га, а средняя площадь пожара составила 308,0 га. Аналогичным по сложности для Тюменской области был 2021 г., когда огнем было пройдено 192,4 тыс. га, а средняя площадь пожара составила 292,8 га.

Анализируя горимость лесов, нельзя не отметить, что в округе фиксируются самые различные причины лесных пожаров (табл. 4).

Таблица 4 – Распределение количества лесных пожаров в УрФО за период с 2017 по 2021 гг. по причинам возникновения, шт/%

Причины возникновения	Ед. измерения	Годы					Средние за 5 лет
		2017	2018	2019	2020	2021	
Выжигание сухой травы	шт	31	6	0	0	47	17
	%	1,7	0,3	0	0	1,1	0,7
Приход с других субъектов	шт	11	25	15	15	18	17
	%	0,6	1,3	1,0	0,7	0,4	0,7
По вине лиц, использующих леса	шт	12	2	4	7	10	7
	%	0,7	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3
Переход с линейных объектов	шт	69	60	64	40	78	62
	%	3,8	3,1	4,4	1,8	1,8	2,7
Местное население	шт	533	831	698	1129	2790	1196
	%	29,0	42,6	47,7	51,7	64,9	51,0
Молнии	шт	683	272	282	674	750	532
	%	37,2	13,9	19,3	30,9	17,5	22,7
Переход с земельных категорий	шт	496	752	398	317	606	514
	%	27,0	38,5	27,2	14,5	14,1	21,9
Экспедиции	шт	0	2	2	0	0	1
	%	0	0,1	0,1	0	0	-
Причина не установлена	шт	1	2	0	0	0	1
	%	0,1	0,1	0	0	0	-
Всего лесных пожаров	шт	1837	1952	1463	2182	4299	2347
	%	100	100	100	100	100	100

Материалы таблицы 4 наглядно свидетельствуют, что основной причиной лесных пожаров на территории округа является неосторожное обращение с огнем местного населения и молнии. Последнее вызывает необходимость усилить профилактическую противопожарную пропаганду среди населения, а также контроль за перемещением сухих гроз. Более подробно причины возникновения лесных пожаров изложены в ранее опубликованной работе [6].

Различия в горимости лесов по субъектам РФ позволяют маневрировать противопожарными службами и тем самым минимизировать негативные последствия лесных пожаров.

При организации охраны лесов от пожаров очень важно не допустить развития низовых лесных пожаров в верховые. Задержка в обнаружении или недостаточная оперативность в тушении лесных пожаров очень часто приводит к крупным пожарам [7], [8] и создает реальную угрозу для населения и объектов экономики [9], [10]. В табл. 5 показана доля крупных лесных пожаров в показателях фактической горимости.

Таблица 5 – Количество и площадь крупных лесных пожаров в 2021 г.

Субъект РФ	Количество		Площадь	
	шт.	%	га	%
Курганская область	137	14,4	37912	88,9
Свердловская область	115	9,7	49504	85,3
Тюменская область	100	15,2	161417	83,9
Челябинская область	43	4,0	37165	89,7
ХМАО-Югра	17	5,2	12435	70,7
УрФО	412	9,6	298433	84,6

Как следует из таблицы 5, несмотря на то что доля крупных пожаров по округу в 2021 г. составила только 9,6 %, пройденная ими площадь превысила 84,6 % общей площади, пройденной огнем. Указанное свидетельствует о недопущении развития крупных лесных пожаров. Другими словами, необходимо оперативно обнаруживать лесные пожары и тушить их на минимальной площади. Последнее невозможно без эффективного противопожарного устройства и высокой квалификации всех привлекаемых к тушению лесных пожаров.

Выводы

1. Показатели фактической горимости лесов в 2021 г. в четырех субъектах РФ в УрФО были выше средних за последние 5 лет, а в двух не превышали средние значения.
2. Особенно сложная ситуация с лесными пожарами сложилась в Тюменской, Челябинской и Свердловской областях.
3. При доле крупных пожаров 9,6 % пройденная ими площадь составила по округу 84,6 % от общей пройденной огнем.
4. Совершенствование охраны лесов от пожаров основывается на их своевременном обнаружении и оперативном тушении.
5. В целях сокращения количества лесных пожаров необходимо усилить работу по противопожарной пропаганде и патрулирование после прохождения «сухих» гроз.
6. Первостепенной задачей является создание эффективной системы противопожарного устройства, особенно вокруг населенных пунктов и объектов экономики, а также оперативное маневрирование лесопожарными подразделениями в рамках УрФО.
7. Для минимизации пройденной огнем площади необходимо своевременное принятие решений об объявлении чрезвычайных ситуаций разных уровней и повышение квалификации всех лиц, привлекаемых к тушению лесных пожаров.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблема / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
2. Шубин Д.А. Послепожарный отпад деревьев в сосновых насаждениях Приобского водоохранного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края / Д.А. Шубин, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала, 2013. № 5 (111). С. 39-41.
3. Шубин Д.А. Последствия лесных пожаров в сосняках Приобского водоохранного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края / Д.А. Шубин, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 127 с.
4. Kullman L. Rapid recent renege-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes / L. Kullman // Journal of Ecology, 2002. 90: 68-77. DOI: 10.1046/j.0022-0477.2001.00630.x.
5. Chhetri P.K. Predicting upslope expansion of sub-alpine forest in the Makalu Barun National Park, Eastern Nepal, with a hybrid cartographic modul / P.K. Chhetri // Journal of Forestry Research. 2018. 29:129-137. DOI:10.1007/s11676-017-0421-8.
6. Куплевацкий С.В. Горимость лесов на территории Уральского Федерального округа и правовые аспекты совершенствования охраны их от пожаров / С.В. Куплевацкий, И.С. Захарова, Н.Н. Шабалина // Леса России и хозяйство в них. 2021. № 2 (77). С. 16-25.
7. Марченко В.П. Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГУ ГЛПР «Ертыс Орманы» / В.П. Марченко, С.В. Залесов // Вестник Алтайского государственного агротехнического университета. 2013. № 10 (108). С. 55-59.
8. Архипов Е.В. Динамика лесных пожаров в Республике Казахстан и их экологические последствия / Е.В. Архипов, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала, 2-17. № 4 (158). С. 10-15.
9. Залесов С.В. Защита населенных пунктов от природных пожаров / С.В. Залесов, Г.А. Годовалов, А.А. Кректунов и др. // Аграрный вестник Урала. 2013. № 2 (108). С. 34-36.
10. Кректунов А.А. Охрана населенных пунктов от природных пожаров. / А.А. Кректунов, С.В. Залесов – Екатеринбург: Урал. Ин-т ГПС МЧС России, 2017. 162 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vorob'ev YU.L. Lesnye pozhary na territorii Rossii: Sostoyanie i problema [Forest fires on the territory of Russia: State and problem] / YU.L. Vorob'ev, V.A. Akimov, YU.I. Sokolov. – М.: DEKS-PRESS, 2004. 312 p. [in Russian]

2. SHubin D.A. Poslepozhar'nyj otpad derev'ev v osnovnykh nasazhde-niyah Priobskogo vodoohrannogo sosnovo-berezovogo lesokhozyajstvennogo rajona Altajskogo kraja [Post-fire mortality of trees in pine plantations of the Priobskoye water-conservation pine-birch forestry region of Altai Territory] / D.A. SHubin, S.V. Zalesov // Agrarnyj vestnik Urala, 2013. № 5 (111). P. 39-41. [in Russian]
3. Shubin D.A. Posledstviya lesnykh pozharov v sosnyakah Priobskogo vodoohrannogo sosnovo-berezovogo lesokhozyajstvennogo rajona Altajsko-go kraja [Consequences of forest fires in the pine forests of the Priobskoye water protection pine-birch forestry region of the Altai Territory] / D.A. SHubin, S.V. Zalesov. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2016. 127 p. [in Russian]
4. Kullman L. Rapid recent renege-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes / L. Kullman // Journal of Ecology, 2002. 90: 68-77. DOI: 10.1046/j.0022-0477.2001.00630.x. [in Russian]
5. Chhetri P.K. Predicting upslope expansion of sub-alpine forest in the Makalu Barun National Park, Eastern Nepal, with a hybrid cartographic model / P.K. Chhetri // Journal of Forestry Research. 2018. 29:129-137. DOI:10.1007/s11676-017-0421-8. [in Russian]
6. Kuplevackij S.V. Gorimost' lesov na territorii Ural'skogo Federal'nogo okruga i pravovye aspekty sovershenstvovaniya ohrany ih ot pozharov [Fire rate of forests on the territory of the Ural Federal District and legal aspects of improving their protection from fires] / S.V. Kuplevackij, I.S. Zaharova, N.N. SHabalina // Lesa /Rossii i hozyajstvo v nih. 2021. № 2 (77). P. 16-25. [in Russian]
7. Marchenko V.P. Gorimost' lentochnykh borov Priirtysh'ya i puti ee mini-mizatsii na primere GU GLPR «Ertys Ormany» [The fire rate of the Irtysh zone pine forests and the ways of its minimization on the example of GU GLPR "Ertys Ormany"] / V.P. Marchenko, S.V. Za-lesov // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrotekhnicheskogo univer-siteta. 2013. № 10 (108). P. 55-59. [in Russian]
8. Arhipov E.V. Dinamika lesnykh pozharov v Respublike Kazahstan i ih ekologicheskie posledstviya [Dynamics of forest fires in the Republic of Kazakhstan and their ecological consequences] / E.V. Arhipov, S.V. Zalesov // Agrarnyj vestnik Urala, 2-17. № 4 (158). P. 10-15. [in Russian]
9. Zalesov S.V. Zashchita naseleennykh punktov ot prirodnykh pozharov [Protection of settlements from wildfires] / S.V. Zalesov, G.A. Godovalov, A.A. Krektunov et al. // Agrar-nyj vestnik Urala. 2013. № 2 (108). P. 34-36. [in Russian]
10. Krektunov A.A. Ohrana naseleennykh punktov ot prirodnykh pozharov. [Protection of settlements from wildfires] / A.A. Krektunov, S.V. Zalesov – Ekaterinburg: Ural. In-t GPS MCHS Rossii, 2017. 162 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.027>

ВЗАИМОСВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ТРИТИКАЛЕ

Научная статья

Сорокина И.Ю.*

Донской Государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (irin.sorockina[at]yandex.ru)

Аннотация

Тритикале отличается высокой адаптивностью, большим потенциалом урожайности в сравнении с пшеницей и лучшим качеством зерна, чем у ржи, с чем связано расширение посевных площадей этой культуры. Целью наших исследований являлась сравнительная оценка новых сортов озимой тритикале в 2017-2019 гг., адаптированных к условиям Ростовской области. В условиях северо-западной зоны Ростовской области было изучено формирование урожайности пяти районированных сортов тритикале. В среднем за три года исследований наибольшая урожайность была сформирована у сорта Аттек – 71,8 ц/га. Превышение урожайности этого сорта по отношению к контрольному варианту составила 7,1 ц/га. У этого же сорта была наименьшая варьированность урожайности по годам исследований, что говорит о высокой адаптивности его к различным климатическим условиям. Изучена взаимосвязь между элементами структуры урожайности тритикале. Установлена сильная степень сопряженности между урожайностью и массой зерна с колоса.

Ключевые слова: тритикале, сорт, урожайность, продуктивная кустистость, масса зерна с колоса, масса зерна с растения.

ON THE RELATIONSHIP OF YIELD WITH THE ELEMENTS OF THE CROP STRUCTURE OF VARIOUS TRITICALE VARIETIES

Research article

Sorokina I.Yu.*

Donskoy State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (irin.sorockina[at]yandex.ru)

Abstract

Triticale is characterized by high adaptability, high yield potential in comparison with wheat and better grain quality compared to rye, which is associated with the expansion of the acreage of this crop. The purpose of the research was a comparative assessment of new varieties of winter triticale in the period from 2017 to 2019 adapted to the conditions of the Rostov Oblast. The author analyzed the formation of yields of five zoned triticale varieties in the conditions of the north-western zone of the Rostov Oblast. On average, over three years of research, the highest yield was formed in the Atstek variety - 71.8 c/ha. The excess yield of this variety in relation to the control variant was 7.1 c/ha. Over the years of research, this variety had the least variation in yield, which indicates its high adaptability to various climatic conditions. The study examines the relationship between the elements of the triticale yield structure and establishes a strong degree of conjugacy between the yield and the weight of grain from the ear.

Keywords: triticale, variety, yield, productive bushiness, grain weight from the ear, grain weight from the plant.

Введение

На современном этапе развития агропромышленного производства, как в нашей стране, так и за рубежом, отмечается расширение посевных площадей тритикале. Это обусловлено высокой адаптивностью тритикале, большим потенциалом урожайности в сравнении с пшеницей и лучшим качеством зерна, чем у ржи [2], [13].

Способность тритикале конкурировать с пшеницей и рожью во многом зависит от уровня адаптивности новых сортов, их способности формировать более высокую урожайность при равных или меньших затратах [10], [12]. Значительную роль в адаптивных свойствах тритикале играет присутствие в геноме этой культуры полного набора хромосом ржи – культуры с наиболее выраженными признаками пластичности. В то же время повысить такие свойства тритикале можно и селекционным путем [3], [6].

Продуктивность современных сортов тритикале в большинстве случаев превосходит многие зерновые культуры при возделывании на низком агрофоне и в неблагоприятных климатических условиях [1], [11]. Однако для перехода на более интенсивный агрофон, который позволит добиться более высокой урожайности, требуется решение проблемы устойчивости к полеганию [9],[7]. Создание низкорослых, адаптивных и высокопродуктивных сортов с участием доноров и источников короткостебельности – это основной и наиболее эффективный путь для решения проблемы полегания тритикале [4], [5].

Исходя из цели, были поставлены и решены следующие задачи: оценить сорта озимой тритикале по урожайности и элементам ее структуры; изучить взаимосвязи количественных признаков и установить роль отдельных элементов структуры урожая в формировании продуктивности озимой тритикале.

Методика исследований

Изучали сорта отечественной селекции озимой тритикале: Алмаз, Топаз, Капрал, Каприз, Аттек. Предшественник – черный пар. Посев проводили нормой высева 4,0 млн. всхожих семян. Площадь учетной делянки 10,5 м². Повторность вариантов в опыте трехкратная. Для определения биологической урожайности отбирали растения с площадок 0,25 м², расположенных в 3-х местах учетной делянки. В качестве стандарта использовали районированный сорт Каприз.

Уборку урожая проводили прямым комбайнированием отдельно по сортам озимой тритикале.

Почвы представлены южным черноземом. Содержание гумуса в пахотном слое несмытых почв южных черноземов достаточно высокое – от 4 до 5 %, но с глубины идет резкое его снижение. В связи с этим почти половина запасов гумуса сосредоточена в слое 0-30 см.

Климат региона умеренно континентальный, засушливый. Зона недостаточного и неустойчивого увлажнения, среднее количество осадков за год 451 мм, их распределение, как по годам, так и по сезонам крайне неравномерное.

Результаты исследований

Урожайность – основной показатель, характеризующий хозяйственную ценность сорта. В течение 2017-2019 гг. нами были изучены сорта тритикале Алмаз, Топаз, Капрал и Ацтек в сравнении с сортом стандартом Каприз по предшественнику черный пар. Рассматривая урожайность сортов в отдельные годы, следует отметить, что наименьшей она была в 2018 году, колеблясь от 59,9 до 68,8 ц/га (таб.1). В 2017 году по урожайности выделился сорт Ацтек (73,6 ц/га). Сорта Капрал и Топаз показали урожайность ниже стандартного сорта Каприз (67,2 и 67,8 ц/га против 68,5 у/га соответственно). В 2019 году наибольшая урожайность была отмечена у сорта Топаз, превышение по этому показателю к стандартному сорту Каприз составило 12,1 ц/га.

Таблица 1 – Урожайность различных сортов тритикале

Сорт	2017 г., ц/га	± к стан- дарту	2018 г., ц/га	± к стан- дарту	2019 г., ц/га	± к стан- дарту	Среднее за 2017-2019 гг., ц/га	± к стан- дарту
Каприз (ст.)	68,5	-	62,5	-	63,0	-	64,7	-
Алмаз	70,4	+1,9	67,8	+5,3	72,1	+9,1	70,1	+5,4
Капрал	67,8	-0,7	59,9	-2,6	67,9	+4,9	65,2	+0,5
Топаз	67,2	-1,3	66,1	+3,6	75,1	+12,1	69,4	+4,7
Ацтек	73,6	+5,1	68,8	+6,3	72,9	+9,9	71,8	+7,1
НСР ₀₅	1,16		1,20		2,01		1,46	

В среднем за три года исследований наибольшая урожайность была сформирована у сорта Ацтек – 71,8 ц/га. Немного ниже продуктивность была у сортов Алмаз (70,1 ц/га) и Топаз (69,4 ц/га), у сорта Капрал в среднем за три года исследований урожайность составила 65,2 ц/га. Превышение по урожайности над стандартным сортом Каприз составляла от 0,5 ц/га у сорта Капрал до 7,1 ц/га у сорта Ацтек.

Высокая урожайность этого сорта косвенно свидетельствует о его низкой зависимости от влияния негативных факторов среды.

Урожайность – интегральный признак, который складывается из взаимодействия отдельных элементов продуктивности. К основным элементам продуктивности относятся: густота стеблестоя, которая в свою очередь связана с продуктивной кустистостью; масса зерна с 1 растения; масса зерна с колоса; число зерен в колосе, а также масса 1000 зерен [8].

Различное сочетание и выражение структурных элементов дает большое разнообразие по продуктивности растений тритикале. Урожай зерна с единицы площади посева находится в тесной зависимости от густоты продуктивных стеблей перед уборкой.

В среднем за три года изучения количество продуктивных стеблей на 1 м² составило у сорта Каприз 552 шт., у сортов Алмаз и Топаз – 641 и 651 шт. соответственно (превышение над стандартным сортом Каприз у этих сортов составило 89 и 99 шт./м² соответственно); у сортов Капрал и Ацтек количество продуктивных стеблей составляло 512 и 528 шт./м² соответственно (рис.1).

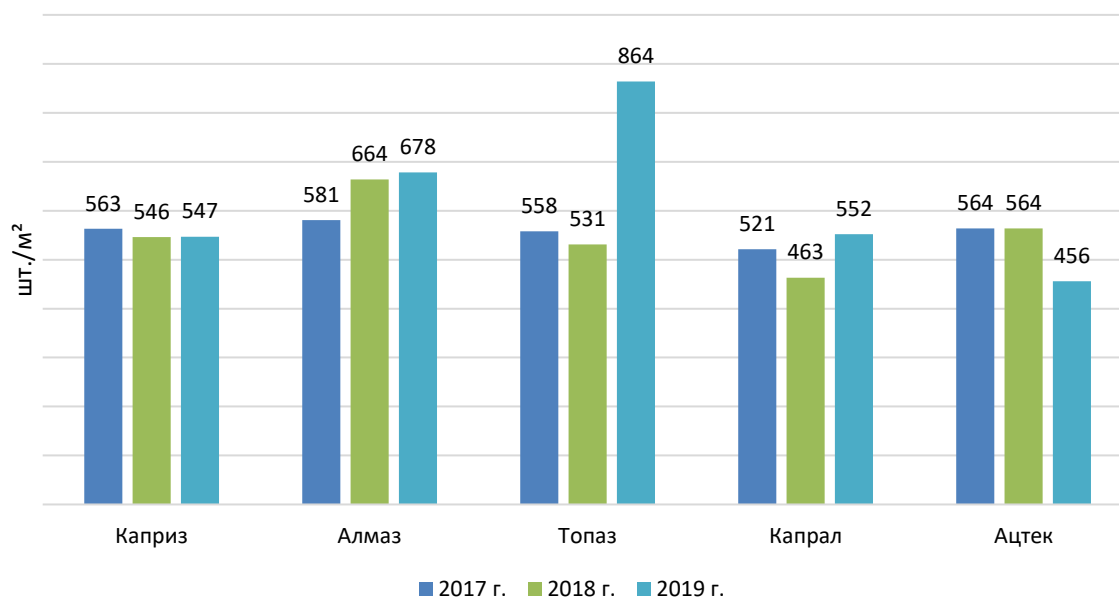


Рис. 1 – Количество продуктивных стеблей у различных сортов тритикале

Рассматривая изменение этого признака в отдельные годы, следует отметить, что в 2017 году показатели его у разных сортов были наиболее близкими (рис.1), варьируя от 521 до 581 шт./м².

В 2018 году различия между сортами были более существенными; разница между максимальным и минимальным показателем составила 201 шт./м². Максимальный продуктивный стеблестой в данном году сформировал сорт Алмаз (664 шт./м²), что на 118 шт./м² больше, чем у стандартного сорта Каприз. Меньше всего продуктивных стеблей было у сорта Капрал - 463 шт./м² (меньше, чем у стандарта на 83 шт./м²).

В 2019 году густота продуктивного стеблестоя у изучаемых сортов еще больше разнилась. Максимальное количество продуктивных стеблей на 1 м² отметили у сорта Топаз (864 шт.). Превышение над стандартом по этому показателю у него составило 186 шт./м². Минимальное количество продуктивных стеблей наблюдалось у сорта Ацтек - 456 шт./м², что на 91 шт./м² меньше, чем у стандартного сорта Каприз. Разница между максимальным и минимальным показателем достигла 408 шт./м², т.е. у сорта Топаз продуктивных стеблей было в 2 раза больше, чем у сорта Ацтек.

Другим немаловажным элементом продуктивности является масса зерна с растения. Этот признак непосредственно зависит от продуктивной кустистости. В среднем за три года наблюдений максимальная масса зерна с растения отмечена у сорта Ацтек, она составила 5,29 г (рис.2), что на 1,13 г выше, чем у стандартного сорта.

Анализируя изменение данного признака у сортов в отдельные годы, следует отметить, что показатели продуктивности растения были наиболее близкими в 2018 году, варьируя от 3,49 (Каприз, стандарт) до 4,87 г (Ацтек). В 2017 году различия были наибольшими и варьировали от 3,34 г у сорта Капрал до 4,81 г у сорта Топаз.

В 2019 году показатели продуктивности растения у сортов Топаз и Ацтек были одинаковыми по значению и составляли 5,65 г. (+1,73 г к стандарту), что было максимальным в данный год исследований.

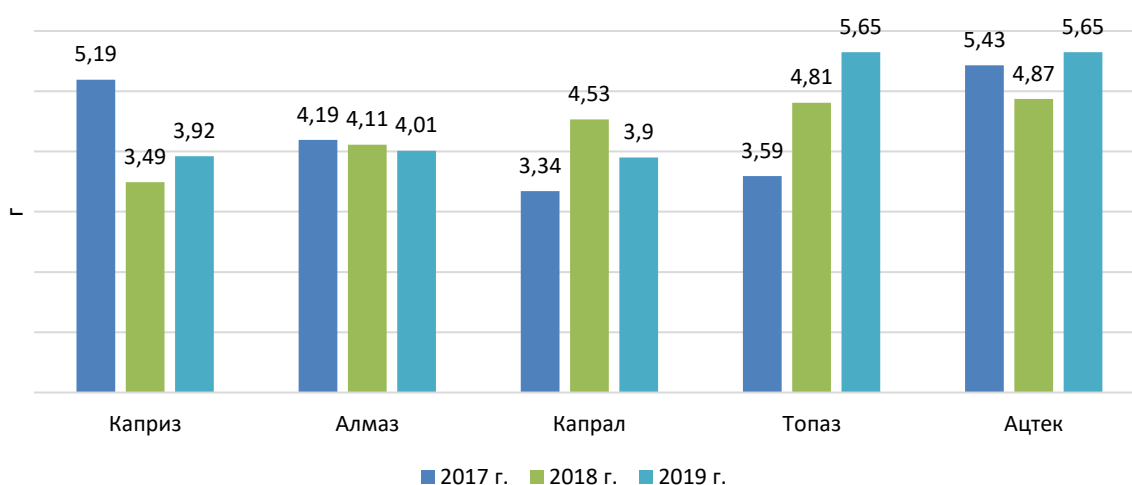


Рис. 2 - Масса зерна с растения, среднее за 2017-2019 гг.

К числу важнейших хозяйственно-ценных признаков относится масса зерна с колоса. В среднем за 2017-2019 гг. наибольшая масса зерна с колоса отмечена у сорта Капрал, она составила 1,52 г (рис. 3).

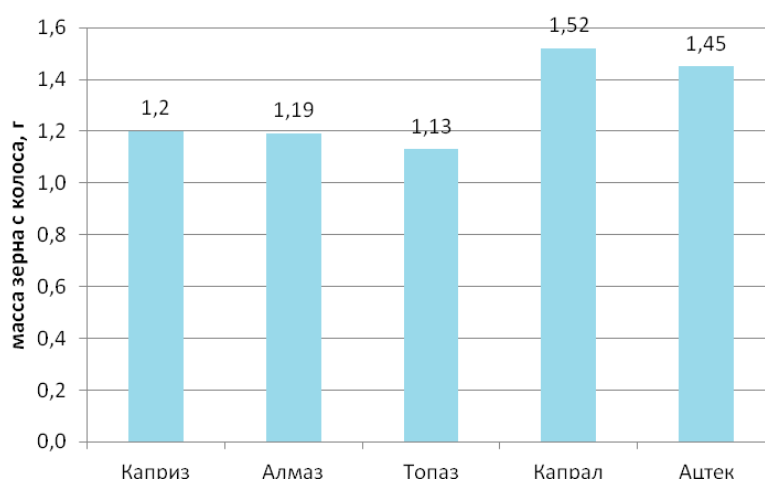


Рис. 3 – Масса зерна с колоса, среднее за 2017-2019 гг.

По этому признаку сорта Алмаз и Топаз незначительно уступали стандарту (на 0,01 и 0,07 г соответственно), сорт Ацтек превысил его на 0,25 г.

Анализируя полученные данные за отдельные годы, можно констатировать, что в 2017 году сорта мало различались по массе зерна с колоса, изменяясь от 1,25 до 1,36 г (рис. 4). Максимального значения различия достигли в 2019 году. Наименьшая масса зерна с колоса была у сорта Капрал (0,96 г), наибольшая – у сортов Топаз и Ацтек (1,73 и 1,75 г соответственно). Превышение массы зерна с колоса у этих сортов по отношению к стандарту составило 0,51 и 0,53 г соответственно.

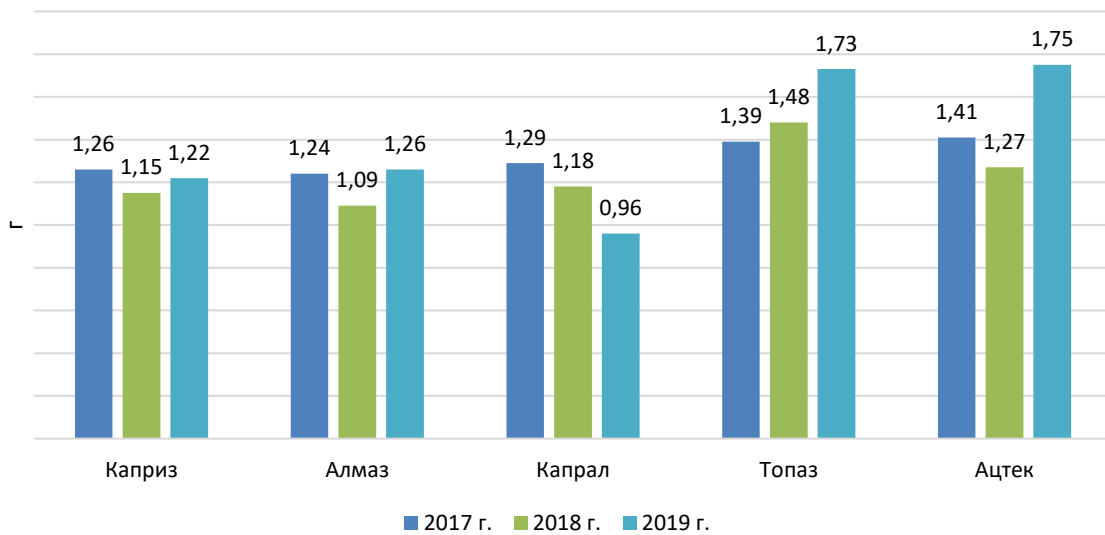


Рис. 4 – Масса зерна с колоса

Немаловажную роль в формировании продуктивности играет крупность зерна, или масса 1000 зерен. Сорт Ацтек выделяется по этому признаку наиболее высокими показателями (рис. 5). В среднем за три года масса 1000 зерен его составила 49,8г, варьируя от 45,9 до 53,7 г.

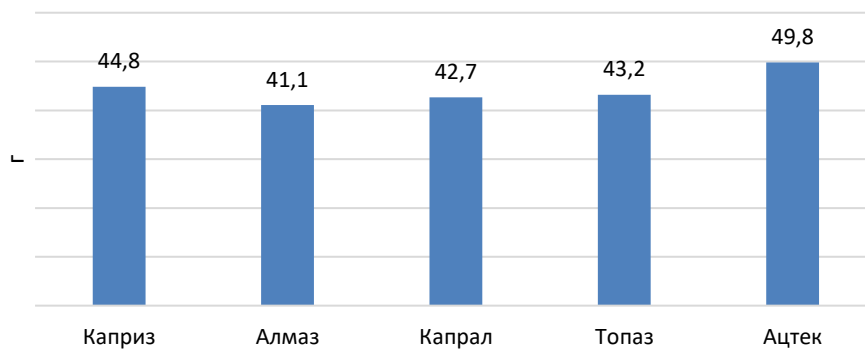


Рис. 5 – Масса 1000 зерен, среднее 2017-2019 гг.

Мелкое зерно формировалось у сорта Алмаз, в среднем масса 1000 зерен составила 41,1 г., что на 3,7 г меньше стандартного сорта Каприз.

К элементам продуктивности относятся также озерненность колоса. Наибольшее количество зерен в колосе отметили у сорта Капрал – 35,9 шт. У других сортов в колосе формировалось от 27,3 до 29,7 зерен.

Были исследованы корреляционные связи между урожайностью сортов и отдельными ее элементами. Рассматривая весь массив данных по всем сортам и за все годы изучения, можно отметить, что сильная степень сопряженности установлена между урожайностью и массой зерна с растения ($r=0,75$) и массой зерна с колоса ($r=0,70$) (рис. 6).

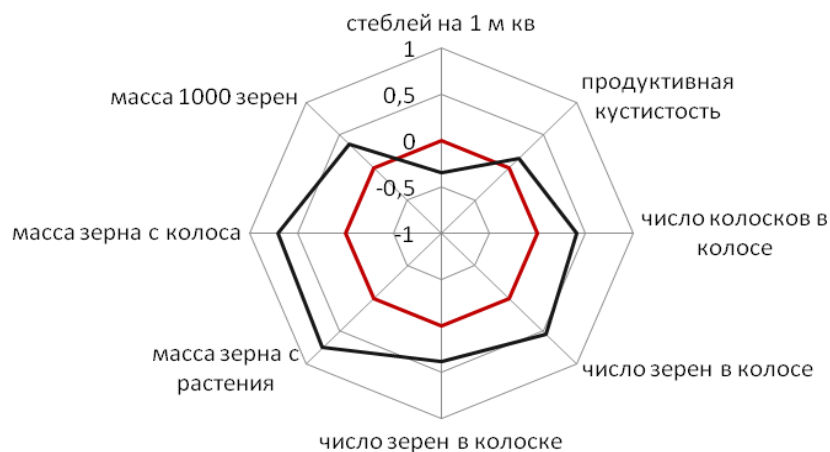


Рис. 6 – Взаимосвязь урожайности с отдельными ее элементами (коэффициенты корреляции), среднее за 2017-2019 гг.

Средняя степень сопряженности установлена между продуктивностью, озерненностью колоса и массой 1000 зерен. Густота продуктивного стеблестоя в средней степени отрицательно коррелирует с урожайностью.

Заключение

В результате трех лет исследований установлено, что наибольшая урожайность зерна была получена у сортов Ацтек и Алмаз (71,8 и 70,4 ц/га соответственно). При этом у сорта Ацтек варьирование этого признака по годам исследований было незначительным, что свидетельствует о большей адаптированности данного сорта к различным погодным условиям.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Абраскова С.В. Изменение кормовой ценности зерна тритикале в зависимости от сортовых различий и условий выращивания / С.В. Абраскова, Н.П. Шишлова, М.П. Василик // Вестник БарГУ. Серия: Биологические науки. Сельскохозяйственные науки.- 2019.- № 7.- С. 108-115.
2. Вафина Э.Ф. Программирование урожайности зерна озимой тритикале в условиях Удмуртской республики / Э.Ф. Вафина // Современные достижения селекции растений - производству. Материалы Национальной научно-практической конференции. - Ижевск, 2021. - С. 54-59.
3. Волков В.П. Особенности сортовой агротехники кормовых тритикале на Дону / В.П. Волков, Н.К. Чуракова, Н.А. Чекунова // Тритикале России. – Ростов-на-Дону, 2000. – С. 101-106.
4. Грабовец А.И. Методы селекции озимых гексалоидных тритикале на Дону и некоторые ее итоги / А.И. Грабовец, А.В. Крохмаль // Селекция озимой пшеницы. – Зерноград, 2001. – С. 76-82.
5. Грабовец А.И. Сравнительная характеристика урожайности и качества белка в зерне сортов озимой пшеницы и тритикале на Дону / А.И. Грабовец, К.Н. Бирюков, М.А. Фоменко // Земледелие. 2020. - № 7. - С. 25-29.
6. Ковтуненко Б.В. Тритикале – культура больших возможностей / Б.В. Ковтуненко // Селекция, семеноводство и возделывание полевых культур.- Ростов-на-Дону, 2004.- С. 389-393.
7. Майсак Г.П. Итоги испытания сортов тритикале озимой в Пермском крае / Г.П. Майсак // Пермский аграрный вестник. 2020. № 1 (29). С. 53-59.
8. Мельникова О.В. Влияние условий выращивания на урожайность и качество зерна озимой тритикале / О.В. Мельникова, В.Е. Ториков, О.Е. Рябчинская // Агроконсультант. - 2016. - № 4 (2016). - С. 18-25.
9. Орлова Н.С. Сортоиспытание озимой тритикале / Н.С. Орлова, О.М. Касынкина // Вестник Саратовского ГАУ.- 2011. - № 12. – С. 32-34.
10. Пономарев С.Н. Урожайность и содержание белка в зерне коллекционных образцов озимой тритикале / С.Н. Пономарев, М.Л. Пономарева, Г.С. Маннапова и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 4. С. 495-506.
11. Скопина Н.Ю. Озимая тритикале в Тюменской области / Н.Ю. Скопина // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сборник материалов LIV Студенческой научно-практической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. 2020. - С. 75-78.
12. Ториков В.Е. Влияние условий выращивания на урожайность и качество зерна озимой тритикале и озимой ржи / В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, В.В. Проничев и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - № 7. - С. 129-131.
13. Трунов Н.П. Тритикале – ценная высокоурожайная культура / Н.П. Трунова, Г.Е. Заболотская, В.М. Сазонова // Кормопроизводство.- 2000.- №1.- С.22-24.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abraskova S.V. Izmenenie kormovojj cennosti zerna tritikale v zavisimosti ot sortovykh razlichijj i uslovijj vyrashhivanija vyrashhivanie tritikale v Rossii [Change in the feed value of triticale grain depending on varietal differences and growing conditions cultivation of triticale in Russia] / S.V. Abraskova, N.P. Shishlova, M.P. Vasilik // Vestnik BarGU. Serija: Biologicheskie nauki. Sel'skokhozzajstvennyye nauki [Bulletin of the BarSU. Series: Biological Sciences. Agricultural sciences].- 2019.- No. 7.- pp. 108-115 [in Russian]
2. Vafina E.F. Programmirovaniye urozhajnosti zerna ozimoyj tritikale v uslovijakh Udmurtskojj respublik [Programming of winter triticale grain yield in the conditions of the Udmurt Republic] / E.F. Vafina // Sovremennyye dostizheniya selekcii rastenijj - proizvodstvu. Materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoyj konferencii [Modern achievements of plant breeding - production. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference]. - Izhevsk, 2021. - pp. 54-59 [in Russian]
3. Volkov V.P. Osobennosti sortovoyj agrotekhniki kormovykh tritikale na Donu [Features of varietal agrotechnics of fodder triticale on Don] / V.P. Volkov, N.K. Churakova, N.A. Chekunova // Tritikale Rossii [Triticale of Russia]. - Rostov-on-Don, 2000. - pp. 101-106 [in Russian]
4. Grabovets A.I. Metody selekcii ozimyx geksaloidnykh tritikale na Donu i nekotorye ee itogi [Methods of selection of winter hexaloid triticales on the Don and some of its results] / A.I. Grabovets, A.V. Krokhmal // Selekcija ozimoyj pshenicy [Selection of winter wheat]. - Zernograd, 2001. - pp. 76-82 [in Russian]
5. Grabovets A.I. Sravnitel'naja kharakteristika urozhajnosti i kalichestva belka v zerne sortov ozimoyj pshenicy i tritikale na Donu [Comparative characteristics of yield and protein content in grain varieties of winter wheat and triticale on the Don] / A.I. Grabovets, K.N. Biryukov, M.A. Fomenko // Zemledelie [Agriculture]. 2020. - No. 7. - pp. 25-29 [in Russian]
6. Kovtunenkov B.V. Tritikale – kul'tura bol'shikh vozmozhnostejj [Triticale - a culture of great opportunities] / B. V. Kovtunenkov // Selekcija, semenovodstvo i vzdelyvanie polevykh kul'tur [Breeding, seed production and cultivation of field crops].- Rostov-on-Don, 2004.- pp. 389-393 [in Russian]

7. Maysak G.P. Itogi ispytaniya sortov tritikale ozimoyj v Permskom krae [Results of testing of winter triticale varieties in Perm Krai] / G.P. Maysak // Permskijj agrarnyj vestnik [Perm Agrarian Bulletin]. 2020. № 1 (29), pp. 53-59 [in Russian]
8. Melnikova O.V. Vlijanie uslovijj vyrashhivaniya na urozhajnost' i kachestvo zerna ozimoyj tritikale [The influence of growing conditions on the yield and quality of winter triticale grain] / O.V. Melnikova, V.E. Torikov, O.E. Ryabchinskaya // Agrokonsultant [Agricultural consultant]. - 2016. - № 4 (2016). - pp. 18-25 [in Russian]
9. Orlova N.S. Sortoispytanie ozimoyj tritikale [Variety testing of winter triticale] / N.S. Orlova, O.M. Kasynkina // Vestnik Saratovskogo GAU [Bulletin of the Saratov State Agrarian University].- 2011. - No. 12. - pp. 32-34 [in Russian]
10. Ponomarev S.N. Urozhajnost' i sodержanie belka v zerne kollekcionnykh obrazcov ozimoyj tritikale [Yield and protein content in grain of collection samples of winter triticale] / S.N. Ponomarev, M.L. Ponomareva, G.S. Mannapova et al. // Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka [Agrarian science of the Euro-Northeast]. 2021. Vol. 22. No. 4, pp. 495-506 [in Russian]
11. Skopina N.Yu. Ozimaja tritikale v Tjumenskojj oblasti [Winter triticale in the Tyumen region] / N.Y. Skopina // Aktual'nye voprosy nauki i khozjajstva: novye vyzovy i resheniya . Sbornik materialov LIV Studencheskojj nauchno-prakticheskoyj konferencii, posvjashhionnoj 75-letiju Pobedy v Velikojj Otechestvennoj vojne [Current issues of science and economy: new challenges and solutions . Collection of materials of the LIV Student Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of Victory in the Great Patriotic War]. 2020. - pp. 75-78 [in Russian]
12. Torikov V.E. Vlijanie uslovijj vyrashhivaniya na urozhajnost' i kachestvo zerna ozimoyj tritikale i ozimoyj rzihi [The influence of growing conditions on the yield and quality of winter triticale and winter rye grain] / V.E. Torikov, O.V. Melnikova, V.V. Pronichev, et al. // Vestnik Kurskojj gosudarstvennoj sel'skokhozjajstvennoj akademii [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy]. - 2015. - No. 7. - pp. 129-131 [in Russian]
13. Trunov N.P. Tritikale – cennaja vysokourozhajjnaja kul'tura [Triticale - a valuable high-yielding crop] / N.P. Trunova, G.E. Zabolotskaya, V.M. Sazonova // Kormoproizvodstvo [Feed production].- 2000.- No. 1.- pp.22-24 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.028>

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЧЕЧЕВИЦЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СОРТОВ В УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

Научная статья

Сорокина И.Ю.^{1,*}, Кумачева В.Д.²

^{1,2} Донской Государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (irin.sorockina[at]yandex.ru)

Аннотация

Увеличить площадь под чечевицей в Российской Федерации, и, в частности в условиях Юга России (Южного федерального Округа), а также валовой сбор ценной продовольственной культуры можно за счёт внедрения в производство новых сортов, обладающих лучшей адаптивной реакцией на изменяющиеся условия внешней среды. В связи с этим, целью исследований являлось изучение исходного материала и выделение источников хозяйственно ценных признаков для селекции высокопродуктивных, технологичных, ценных по качеству сортов чечевицы в условиях приазовской зоны Ростовской области.

По результатам 3-х лет исследований по комплексу хозяйственно-ценных признаков (высота растений, высота прикрепления нижнего боба, семенная продуктивность растения) выделились сортообразцы К-2940 (Россия, Пензенская область), К – 2925 (Болгария), К – 2610 (Россия, Орловская область).

Ключевые слова: чечевица, сортообразец, коллекция, адаптированность, высота растений, высота прикрепления нижнего боба, семенная продуктивность.

A STUDY OF LENTIL SAMPLES FOR THE PURPOSES OF CREATING NEW VARIETIES IN THE SOUTH OF RUSSIA

Research article

Sorokina I.Yu.^{1,*}, Kumacheva V.D.²

^{1,2} Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (irin.sorockina[at]yandex.ru)

Abstract

It is possible to increase the area of lentil cultivation in the Russian Federation, and, in particular, in the conditions of the South of Russia (Southern Federal District), as well as the gross harvest of valuable food crops by introducing new varieties into production with a better adaptive response to changing environmental conditions. In this regard, the purpose of the research was to study the source material and identify sources of economically valuable traits for the selection of highly productive, technological, and valuable in quality lentil varieties in the Azov zone of Rostov Oblast.

According to the results of a 3-year research on a complex of economically valuable traits (plant height, attachment height of the lower bean, seed yield of the plant), the study singles out the following varieties: K-2940 (Russia, Penza Oblast), K-2925 (Bulgaria), and K-2610 (Russia, Oryol Oblast).

Keywords: lentils, variety, collection, adaptability, plant height, attachment height of the lower bean, seed productivity.

Введение

Чечевица *Lens culinaris* Medik. является одной из наиболее ценных продовольственных зернобобовых культур в мире [2].

По данным экспертно-аналитического центра агробизнеса посевные площади чечевицы в мире за последние годы составляют свыше 6 млн. га [10]. Ведущая роль в увеличении производства чечевицы принадлежит созданию и внедрению в производство новых сортов. Основная цель любого селекционного процесса – развитие положительных качеств культуры и устранение ее негативных особенностей [9].

Важнейшее достоинство чечевицы – высокие потребительские качества ее зерна. К числу главных недостатков существующих сортов ведущие специалисты относят низкую, нестабильную урожайность и недостаточную технологичность [1], [8]. Они определяются такими биологическими особенностями растений чечевицы, как короткостебельность, низкое прикрепление нижних бобов, полегаемость, слабая конкурентоспособность по отношению к сорной растительности, низкая толерантность к гербицидам, неравномерность созревания, растрескивание бобов и осыпание семян, низкая устойчивость к абиотическим (засуха, переувлажнение, холод, засоленность почв и др.) и биотическим (*Ascochyta lentils*, *Fusarium oxysporum*, *Colletotricum truncatum*, *Botrytis fabae*, *Uromyces faba*, *Sitona lineatus* и др.) стрессорам [7].

Коллекция генетических ресурсов растений (ГРР) ВИР отражает мировое разнообразие и современное состояние селекции зерновых бобовых культур в разных странах мира и пополняется новыми образцами. Уникальность коллекции ГРР ВИР состоит в том, что сборы всех культур начаты в первой половине XX века. Более 20% образцов коллекции ГРР ВИР составляют уже исчезнувшие сорта и популяции, которые при этом несут ценные для селекции и производства гены, которые на определенном этапе оказываются востребованными. Коллекция позволяет решать задачи селекции по адаптации современных сортов к местным условиям в различных зонах страны.

Ряд авторов утверждают, что у чечевицы приблизительно на 40% уменьшился объем генетического разнообразия, что также является негативным для селекции фактором [11].

Для повышения эффективности селекционной работы необходимо на основе изучения генофонда вида *Lens culinaris* Medik. вести целенаправленный поиск источников хозяйственно ценных признаков с целью вовлечения их в традиционные и разрабатываемые методы селекции. При этом комплексная оценка исходного материала должна базироваться на изучении морфологических, технологических и других биологических особенностей растений.

По мнению Пимонова К.И., чечевица в богарных условиях Ростовской области является нишевой зернобобовой культурой, способной давать рентабельность выше 150% [8]. Преимуществом чечевицы является то, что уровень затрат на её выращивание в два раза ниже, чем у озимой пшеницы, при этом рентабельность остаётся на том же уровне. В связи с этим важным является изучение морфобиологических параметров перспективных образцов чечевицы для условий Ростовской области с учетом происходящих изменений климата.

Методика исследований

Исследования были начаты в 2018 году в условиях учебного научно-производственного комплекса Донского государственного аграрного университета. Объектом исследований были 100 сортообразцов мировой коллекции чечевицы, полученные из генофондов ВИР им. Н.И. Вавилова.

Опыт мелкоделяночный. Сортообразцы высевались вручную на глубину 3-4 см с междурядьями 30 см. Почвы опытного участка представлены черноземами обыкновенными, относящихся к тяжелосуглинистым почвам. Характерной чертой климата Ростовской области являются засухи и суховеи. Засуха обычно сопровождается высокими температурами и резким снижением относительной влажности, когда её величина становится ниже 30%. В течение года по области может наблюдаться от 50 до 85 дней с такой низкой относительной влажностью. На фоне засухи особенно губительными для растений являются суховеи, сопровождающиеся дефицитом влажности и высокой температурой.

В качестве стандарта использовался сорт Веховская 1 (Петровско-Разумовской селекционной станции, Пензенская область). Площадь учётной делянки – 1м², повторность в опыте четырёхкратная.

Изучение и оценку коллекционных образцов чечевицы проводили в соответствии с методическими указаниями и классификаторами [4], [5], [6].

Структурный анализ растений проводился по следующим признакам: высота прикрепления нижнего боба, число бобов с 1-го растения, число семян с 1-го растения, масса семян с 1-го растения, масса 1000 семян, форма семени, окраска семенной кожуры.

Результаты исследований

Анализ результатов экологического изучения коллекционных образцов в полевых условиях за 2018 и 2019 гг. показал, что в Ростовской области была выявлена дифференциация образцов по ценным селекционным признакам. Структурный анализ растений чечевицы свидетельствует о широкой генотипической изменчивости изученного сортимента, что позволяет вести целенаправленный отбор по основным направлениям селекции культуры.

В результате трехлетних исследований (2018-2020 гг.) из 100 сортообразцов чечевицы было отобрано 16, которые выделились по продуктивности, окраске, массе семян и другим хозяйственно-ценным признакам.

Сорт чечевицы считается высокотехнологичным, если высота растения отмечается не менее 40 см [3].

Анализ данных таблицы 1 показал, что по высоте растений выделились образцы К-2925 и К-2662 (57 см). Превышение высоты по отношению к стандартному сорту Веховская 1 у этих образцов составило 17 см. Высота более 40 см была у образцов К-1080, К-2610, К-2837, К-2641 (превышение над стандартом составило от 1 до 7 см). Самым низкорослым был образец К-2805 (31 см).

Установлено, что у более высокорослых растений высота прикрепления нижнего боба выше, чем у низкорослых, что сказывается на снижении потерь при механизированной уборке.

Высота прикрепления нижнего боба максимальной была у образцов К-2662 (30 см) и К-2925 (29 см) (на 4-5 см больше, чем у стандарта Веховская 1). Наименьшие значения этого показателя были у образцов: К-2911, К - 2835 (17 см); К-3053, К-3031, К- 2805 (18 см).

Таблица 1 – Биометрические показатели выделенных образцов чечевицы (среднее 2018-2020 гг.)

Сортообразец	Высота растений, см	Высота прикрепления нижнего боба, см
Веховская 1 (ст.)	40	25
К - 3030	54	27
К - 2940	55	26
К - 2711	33	17
К - 2925	57	29
К - 2835	34	17
К - 1080	44	21
К - 2821	33	20
К - 2614	29	19
К - 2610	45	22
К - 3053	35	18
К - 2837	47	25
К - 3031	32	18
К - 2662	57	30
К - 2805	31	18
К - 2641	41	27
НСР ₀₅	2,292	2,711

Достоверное превышение по количеству бобов на растении по отношению к стандартному сорту было у образцов К-2821 (40,1 шт.) и К-2641 (40,2 шт.) (табл.2).

У таких образцов, как К-1080 (Сардиния), К-2821 (Франция), К-2837 (Канада) соотношение количества семян с одного растения к количеству бобов на растении было меньше 1. Это говорит о том, что у данных образцов сформировалось много невыполненных бобов.

Из таблицы 2 видно, что наибольшая семенная продуктивность среди растений чечевицы с тарелочной формой семян наблюдалась у образцов К-2940 (Пензенская область), К-2711 (Эквадор), К-2925 (Болгария). Превышение по массе семян с одного растения у этих образцов над стандартным сортом Веховская 1 составило 0,1; 0,07 и 0,08 г соответственно.

Таблица 2 – Семенная продуктивность сортообразцов чечевицы, среднее 2018-2020 гг.

Сортообразец	Количество бобов на растении, шт.	Количество семян с растения, шт.	Масса семян с растения, г	Масса 1000 семян, г
Веховская 1 (ст.)	37,4	37,8	1,21	32,2
К - 3030	24,1	32,0	1,12	35,0
К - 2940	31,6	24,0	1,31	54,6
К - 2711	34,8	26,0	1,28	49,2
К - 2925	38,1	21,0	1,29	61,4
К - 2835	30,7	22,6	1,13	50,1
К - 1080	39,9	30,0	0,81	27,0
К - 2821	40,1	25,0	0,79	31,6
К - 2614	31,6	31,0	0,80	25,8
К - 2610	12,8	17,0	0,87	51,2
К - 3053	24,1	27,9	0,64	22,9
К - 2837	38,5	22,0	0,85	38,6
К - 3031	8,6	11,0	0,59	53,6
К - 2662	12,9	14,6	0,64	43,9
К - 2805	39,4	21,7	0,58	26,7
К - 2641	40,2	31,0	0,8	25,8
НСР ₀₅	2,74	2,85	0,18	2,56

Среди образцов с округлой формой семян по семенной продуктивности растения выделился образец К-3030 (Тамбовская область).

Масса 1000 семян у образцов с тарелочной формой семян колебалась от 61, г у образца К-2925 (Болгария) до 38,6 г у образца К-3053 (Орловская область). У образцов с округлой формой семян – от 22,9 до 35 г.

Поскольку чечевица является преимущественно пищевой культурой, то такие показатели, как окраска семенной кожуры, разваримость семян имеют немаловажное значение.

В России в основном выращиваются сорта с коричневой окраской семян. В последнее время товаропроизводители отдают предпочтение сортам со светло-зеленой окраской семенной кожуры.

Примесь семян, потерявших цвет, белесоватых, мраморных (с рисунком), покрасневших и побуревших обесцвечивает чечевицу и допускается лишь в низших подтипах. Чечевица теряет цвет при плохой уборке и при хранении на свету. Зеленые семена становятся темно-бурыми. Эти изменения являются результатом разрушения хлорофилла семенной оболочки

Среди изучаемых образцов белая и беловато-розовая окраска семенной кожуры была у образцов: К-3030 (Россия, Тамбовская область), К-2821 (Франция), К-3053 (Россия, Орловская область), К-2610, К-3031 (Азербайджан). Образцы со светло-зеленой окраской семенной кожуры: К-2940 (Россия, Пензенская область), К-2925 (Болгария), К-2837 (Канада).

Коричневую окраску семенной кожуры имели образцы: К-2835 (Канада), К-1080 (Сардиния), К-2641 (Мексика), К-2914 (Орловская область.), К-2662 (Греция), К-2711 (Эквадор).

Заключение

Таким образом, в результате исследований удалось выделить 16 сортообразцов чечевицы, адаптированных к нестабильным погодным условиям Ростовской области. 7 образцов имели высоту растений более 45 см и высоту прикрепления нижнего боба более 20 см (К-3030, К-2940, К-2925, К-1080, К- 2610, К-2837, К-2662). Сортообразцы К-2940 (Россия, Пензенская область), К- 2925 (Болгария), К- 2610 (Россия, Орловская область) и К-3031 (Азербайджан) отличались высокой семенной продуктивностью (масса 1000 семян более 50 г).

По комплексу хозяйственно-ценных признаков выделились сортообразцы К-2940 (Россия, Пензенская область), К – 2925 (Болгария), К – 2610 (Россия, Орловская область).

Работа с данными образцами будет продолжена с целью изучения продуктивных и качественных показателей.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Зотиков В.И. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений / В.И. Зотиков, А.А. Полухин, Н.В. Грядунова и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2020. - № 4 (36).- С. 5-17.

2. Кондыков И.В. Культура чечевицы в мире и Российской Федерации (обзор) / И.В. Кондыков // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2012. – №2. – С. 13 – 20.
3. Маракаева Т.В. Чечевица – перспективная зернобобовая культура / Т.В. Маракаева // Разнообразие и устойчивое развитие агробиocenозов омского Прииртышья: материалы Национальной научно-практической конференции, посвящ. 90-летию ботанического сада Омского ГАУ. Омск, 2017. С. 158–161.
4. Международный классификатор СЭВ рода *Lens Mill.*, Л., 1985, - 42 с.
5. Методические указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур. Л., 1975.- 60 с.
6. Методические указания «Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение». ВИР. СПб. - 2010. - 141 с.
7. Огородцева Ю.С. Коллекция чечевицы как источник исходного материала для ее селекции в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Ю.С. Огородцева, Е.Н. Океанова // Сборник материалов XXIII научно-технической студенческой конференции. 2017. С. 79 - 82.
8. Пимонов К.И. Исходный материал для селекции чечевицы в условиях Ростовской области РФ / С.А. Дворянинов, И.Ю. Сорокина, К.И. Пимонов // Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства. Материалы международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 185-196.
9. Ракина М. С. Оценка образцов чечевицы из мирового генофонда коллекции ВИР по экологической пластичности основных показателей качества семян / М.С. Ракина // Тенденции сельскохозяйственного производства в современной России. Сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. 2014. С. 339-345.
10. Экспертно-аналитический центр агробизнеса "АБ-Центр". [Электронный ресурс]. URL: www.ab-centre.ru. (дата обращения: 12.11.2021)
11. Alo F. Leveraging Genomic Resources of Model Species for the Assessment of Diversity and Phylogeny in Wild and Domesticated Lentil / F. Alo, B. J. Furman, E. Akhunov [et al.] // Journal of Heredity. - 2011- 102 (3). -P. 315-329.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zotikov V.I. Razvitiye proizvodstva zernobobovyh i krupnyah kul'tur v Rossii na osnove ispol'zovaniya selekcionnyh dostizhenij [Development of the production of leguminous and cereal crops in Russia based on the use of breeding achievements] / V.I. Zotikov, A.A. Polukhin, N.V. Grydunova et al. // Zernobobovye i krupnyane kul'tury [Leguminous and cereal crops]. - 2020. - № 4 (36).- Pp. 5-17. [in Russian]
2. Kondykov I.V. Kul'tura chechevicy v mire i Rossijskoj Federacii (obzor) [Lentil culture in the world and the Russian Federation (review)] / I.V. Kondykov // Zernobobovye i krupnyane kul'tury [Leguminous and cereal crops]. - 2012. - No. 2. - p. 13-20. [in Russian]
3. Marakaeva T.V. Chechevica – perspektivnaja zernobobovaja kul'tura [Lentils - promising leguminous culture] / T.V. Marakaeva // Raznoobrazie i ustojchivoe razvitiye agrobiocenozov omskogo Priirtysh'ja: materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashh. 90-letiju botanicheskogo sada Omskogo GAU [Diversity and sustainable development of agrobiocenoses of the Omsk Irtysh region: materials of the National Scientific and Practical Conference, dedicated to 90th anniversary of the botanical Garden of the Omsk State Agrarian University]. Omsk, 2017. pp. 158-161. [in Russian]
4. Mezhdunarodnyj klassifikator SJeV roda *Lens Mill* [International classifier of CMEA of the genus *Lens Mill.*], L., 1985, - 42 p. [in Russian]
5. Metodicheskie ukazaniya po izucheniju kollekcii zernovyh bobovyh kul'tur [Methodological guidelines for the study of the collection of grain legumes]. L., 1975.- 60 p. [in Russian]
6. Metodicheskie ukazaniya «Kollekcija mirovyh geneticheskikh resursov zernovyh bobovyh VIR: popolnenie, sohranenie i izuchenie» [Methodological guidelines "Collection of world genetic resources of grain legumes VIR: replenishment, conservation and study"]. VIR. SPb. - 2010. - 141 p. [in Russian]
7. Ogorodtseva Yu.S. Kollekcija chechevicy kak istochnik ishodnogo materiala dlja ee selekcii v uslovijah juzhnoj lesostepi Zapadnoj Sibiri [Collection of lentils as a source of source material for its breeding in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia] / Yu.S. Ogorodtseva, E.N. Okeanova // Sbornik materialov XXIII nauchno-tehnicheskoy studencheskoj konferencii [Collection of materials of the XXIII scientific and technical student conference]. 2017. pp. 79 - 82. [in Russian]
8. Pimonov K.I. Ishodnyj material dlja selekcii chechevicy v uslovijah Rostovskoj oblasti RF [Source material for breeding lentils in the conditions of the Rostov region of the Russian Federation] / S.A. Dvoryaninov, I.Yu. Sorokina, K.I. Pimonov // Resource conservation and adaptability in technologies of cultivation of agricultural crops and processing of crop production. Resursosberezhenie i adaptivnost' v tehnologijah vozdelevaniya sel'skohozjajstvennyh kul'tur i pererabotki produkcii rastenievodstva. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Materials of the international scientific and practical conference]. - 2019. - pp. 185-196. [in Russian]
9. Rakina M. S. Ocenka obrazcov chechevicy iz mirovogo genofonda kollekcii VIR po jekologicheskoj plastichnosti osnovnyh pokazatelej kachestva semjan [Evaluation of lentil samples from the world gene pool of the VIR collection on ecological plasticity of the main indicators of seed quality] / M.S. Rakina // Tendencii sel'skohozjajstvennogo proizvodstva v sovremennoj Rossii. Sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Trends in agricultural production in modern Russia. Collection of materials of the XIII International Scientific and Practical Conference]. 2014. pp. 339-345. [in Russian]
10. Jekspertno-analiticheskij centr agrobiznesa "AB-Centr". [Expert-analytical center of agribusiness "AB-Center"]. [Electronic resource]. URL: www.ab-centre.ru. (accessed: 12.11.2021) [in Russian]
11. Alo F. Leveraging Genomic Resources of Model Species for the Assessment of Diversity and Phylogeny in Wild and Domesticated Lentil / F. Alo, B. J. Furman, E. Akhunov [et al.] // Journal of Heredity. - 2011- 102 (3). -P. 315-329.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.029>

ВЛИЯНИЕ ПРОХОДНЫХ РУБОК НА ПОДРОСТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ СОСНЯКА ЯГОДНИКОВОГО

Научная статья

Фефелова И.А.^{1,*}, Сураев П.Н.², Микеладзе Ш.Э.³

¹ ORCID: 0000-0002-8442-9971;

² ORCID: 0000-0001-7842-9219;

³ ORCID: 0000-0003-2976-4074;

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

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

Аннотация

На основании материалов постоянных пробных площадей проанализированы таксационные показатели подроста спустя 40 лет после проведения проходных рубок различной интенсивности в условиях сосняка ягодникового Средне-Уральского таежного лесного района. На всех секциях постоянных пробных площадей изучены состав и густота подроста в соответствии с широко известными апробированными методиками.

Установлено, что проходные рубки способствуют накоплению подроста ели сибирской (*Picea obovate* Ledeb.). Последнее можно объяснить низкой требовательностью молодого подроста ели к освещенности под пологом соснового древостоя.

Подрост сосны, напротив, не выдерживает затенения материнским пологом и в подавляющем большинстве погибает в возрасте 10-15 лет или переходит в категорию нежизнеспособного.

Таким образом, проходные рубки в условиях сосняка ягодникового приводят к накоплению подроста ели, создавая условия для смены сосняков на ельники. Последнее крайне нежелательно, поскольку в эксплуатационных лесах приводит к снижению продуктивности древостоев, а в защитных – понижает устойчивость формируемых насаждений к рекреационным нагрузкам и другим неблагоприятным природным и антропогенным факторам.

Ключевые слова: проходные рубки, сосняк ягодниковый, подрост, густота, состав, встречаемость.

THE EFFECT OF LOGGING ON PRELIMINARY GENERATION UNDERGROWTH IN PINE FORESTS

Research article

Fefelova I.A.^{1,*}, Suraev P.N.², Mikeladze Sh.E.³

¹ ORCID: 0000-0002-8442-9971;

² ORCID: 0000-0001-7842-9219;

³ ORCID: 0000-0003-2976-4074;

^{1, 2, 3} Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, Russia

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

Abstract

Based on the materials of permanent test areas, the current study analyzes the survey indicators of undergrowth 40 years after the thinning of various intensity in a pine forest of the Middle Ural taiga forest region. The composition and density of undergrowth were studied in all sections of permanent test areas in accordance with proven methods.

The authors establish that thinning contributes to the accumulation of the *Picea obovate* Ledeb undergrowth. This can be explained by the low demand of young spruce undergrowth for illumination under the canopy of a pine stand.

Pine undergrowth, on the other hand, does not withstand shading by the canopy and dies at the age of 10-15 years or passes into the category of non-viable.

Thus, thinning in the pine forest under study leads to the accumulation of spruce undergrowth, creating conditions for the change of pine forests to spruce forests. The latter is highly undesirable, since it leads to a decrease in the productivity of stands in commercial forests, while in protecting forests it reduces the resistance of formed plantations to recreational loads and other unfavorable natural and anthropogenic factors.

Keywords: logging, pine forest, undergrowth, density, composition, occurrence.

Введение

Формирование высокопроизводительных устойчивых насаждений во многом определяется своевременностью и правильностью проведения рубок ухода [1], [2], [3], [4]. Каждый из видов рубок ухода преследует конкретные цели. Если в эксплуатационных лесах особая роль принадлежит рубкам ухода в молодняках, которые обеспечивают доминирование в составе древостоев главной древесной породы [5], [6], [7], то в защитных лесах их главное назначение заключается в формировании устойчивых, рекреационно привлекательных насаждений [8], [9]. Не следует забывать также, что рубки ухода позволяют повысить пожароустойчивость насаждений [3], [10] и улучшить селекционную структуру древостоев [11], [12], [13].

Запрещение сплошнолесосечных рубок в защитных лесах обусловило необходимость более тщательного анализа влияния рубок ухода на накопление подроста предварительной генерации [14]. Однако работ в данном направлении относительно немного. Последнее объясняется тем, что проходные рубки заканчиваются за класс возраста до возраста спелости, а следовательно, появившийся сразу после рубки подрост светлохвойных пород погибает из-за разрастания крон, оставленных на дорастивание деревьев, и как следствие этого, недостатка освещенности под их кронами [15], [16]. В то же время наличие подроста хозяйственно ценных пород под пологом спелых древостоев во многом определяет успешность проведения рубок спелых и перестойных насаждений.

Цель, методика и объекты исследований

Целью наших исследований являлось установление количественных показателей подроста к возрасту спелости древостоев после проведения проходных рубок.

Объектом исследований служили сосновые насаждения ягодникового типа леса, произрастающие на территории Средне-Уральского таежного лесного района. Насаждения данного типа леса занимают пологие склоны со свежими суглинистыми и супесчаными почвами [17], [18]. Основной объем экспериментальных исследований был выполнен на территории Уральского учебно-опытного лесхоза Уральского государственного лесотехнического университета (УУОЛ УГЛТУ). В указанных насаждениях в возрасте 42 года были проведены проходные рубки интенсивностью 15, 25 и 35 % по запасу с оставлением контрольной секции, где рубки ухода не проводились.

В основу выполненных нами исследований заложен метод постоянных пробных площадей (ППП). Каждая из ППП состояла, как было отмечено ранее, из четырех секций, на которых выполнены комплексные исследования компонентов насаждений до и после проведения проходных рубок. Результаты исследований на момент закладки и проведения проходных рубок на ППП достаточно подробно описаны в научной литературе [19]. Нами на всех секциях ППП проведены очередные исследования спустя 40 лет после проведения проходной рубки согласно широко известным апробированным методикам [20]. В процессе исследований устанавливались густота, встречаемость и состав подроста в пересчете на крупный.

Полученные данные сравнивались с показателями нормативно-правовых документов по лесовосстановлению [21] с целью установления достаточности подроста для последующего лесовосстановления в случае вырубке материнского древостоя.

В результате проведения проходных рубок произошли существенные изменения в составе живого напочвенного покрова (ЖНП) и подлеска. Однако по мере разрастания крон, оставленных на доращивание деревьев, указанные компоненты насаждения претерпевали изменения. Динамику этих изменений мы планируем изложить в следующей работе.

Результаты и обсуждение

Проходные рубки в сосновых насаждениях ягодникового типа леса были проведены в 1981 г. В процессе проведения проходных рубок на каждой ППП было выделено по 4 секции на трех из них (рабочие) были проведены рубки интенсивностью 15, 25 и 35 % по запасу со снижением относительной полноты древостоев до 0,7. Четвертая секция оставалась контрольной, поскольку на ней проходные рубки не проводились.

В целях минимизации затрат на проведение рубок ухода часть древесины вырубленных деревьев была использована для создания малых архитектурных форм [22].

Выполненные исследования показали, что в 82-летнем возрасте насаждения сосняка ягодникового характеризуются относительно высокими таксационными показателями (табл. 1).

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что несмотря на прошедшие 40 лет после проходных рубок, контрольная секция, где рубки не проводились характеризуется максимальным запасом древостоя 580 м³/га. При этом на контроле накопился максимальный запас сухой древесины 61 м³/га, а средний диаметр сосны составляет только 17,8 см. Указанное свидетельствует, что контрольные сосновые древостои, где рубки ухода не проводились характеризуются значительной загущенностью, наличием напочвенных горючих материалов, пониженной противопожарной устойчивостью и высокой потенциальной пожарной опасностью.

Таблица 1 – Таксационные показатели древостоев пробной площади, пройденных 40 лет назад проходными рубками разной интенсивности

Интенсивность рубки, %	Порода	Средние		Класс бонитета	Сумма площадей сечений, м ² /га	Относительная полнота	Густота, шт/га	Запас, м ³ /га.	
		диаметр, см	высота, м					общий	в т.ч. сухостоя
0 контроль	С	17,8	21,6	I	46,05	1,25	1852	571,6	61,1
	Б	22,0	24	-	0,88		23	8,4	0,0
Итого	-	-	-	-	46,93	-	1875	580,0	61,1
15	С	21,3	24,8	I	40,83	1,05	1151	494,6	29,0
	Л	18,0	18,2	-	0,54		21	5,9	0,0
Итого	-	-	-	-	41,37	-	1173	500,5	29,0
25	С	21,2	23,7	I	37,20	0,93	1059	477,8	51,3
	Б	18,1	20	-	3,04		119	27,8	3,5
Итого	-	-	-	-	40,25	-	1178	505,5	54,8
35	С	23,6	27,2	Ia	29,59	0,69	675	344,1	4,5
	Б	15,4	18,9	-	1,56		83	13,9	0,3
	Е	8,0	6,4	-	0,04		8	0,2	0,0
Итого	-	-	-	-	31,19	-	767	358,1	4,8

Проведение рубок ухода снижает долю сухостоя пропорционально интенсивности изреживания. При интенсивности 35 % по запасу даже спустя 40 лет после рубки доля сухостоя не превышает 5 м³/га. При этом средний

диаметр деревьев сосны составляет 23,6 см, что свидетельствует о повышенной пожарной устойчивости выращиваемых древостоев.

Различие в относительной полноте контрольного и пройденных рубками ухода древостоев оказало существенное влияние на накопление подроста предварительной генерации (табл. 2).

Данные табл. 2 позволяют сделать вывод, что в условиях сосняка ягодникового проходные рубки способствуют накоплению подроста ели. При этом максимальное количество подроста ели накапливается на секциях, пройденных 40 лет назад проходными рубками интенсивностью 25 % по запасу. Наличие на указанных секциях 2980 шт/га подроста в пересчете на крупный свидетельствует, что в соответствии с действующими нормативными документами [19] его вполне достаточно для проектирования сохранения при планировании спелых и перестойных насаждений и предварительного лесовосстановления вырубок.

Таблица 2 – Количество подроста в пересчете на крупный и его распределение по категориям санитарного состояния

Интенсивность рубки, %	Состав подроста	Количество подроста по жизнеспособности			Встречаемость, %	Количество жизнеспособного, шт/га
		Ж	С	Не Ж		
0 контроль	9Е	910	400	0	52	1110
	1Б	130	0	0	8	130
	Итого:	1040	400	0	-	1240
15	9Е	2017	83	0	57	2058
	1С	167	0	0	10	167
	+Б	67	0	0	3	67
	Итого:	2250	83	0	-	2292
25	10Е	2940	80	0	84	2980
	+С	100	0	0	4	100
	Итого:	3040	80	0	-	3080
35	3Е	1230	50	0	56	1255
	3Б	420	0	0	20	420
	+Л	50	0	0	4	50
	Итого:	1700	50	0	-	1725

Наглядное представление о состоянии подроста ели позволяет получить рисунок.

Анализируя последствия проходных рубок в плане накопления подроста предварительной генерации, можно отметить, что они способствуют смене сосны на ель. Указанное нельзя считать положительным, поскольку еловые древостои в ягодниковом типе леса Средне-Уральского таежного лесного района характеризуются более низкой производительностью по сравнению с таковой у сосновых насаждений. Другими словами, данная смена пород нежелательна в эксплуатационных лесах по экономическим соображениям.



Рис. 1 – Подрост ели на участке, пройденном 40 лет назад проходными рубками интенсивностью 25 %

В защитных лесах, особенно рекреационного назначения, смена сосны на ель также нежелательна, поскольку она снижает устойчивость древостоев против рекреационных нагрузок и ветра. Нельзя также забывать, что в ельниках складываются менее благоприятные микроклиматические условия по сравнению с сосняками, что нельзя не учитывать при обеспечении лесопользования.

Выводы

1. Проходные рубки за счет увеличения притока солнечной радиации к поверхности почвы оказывают существенное влияние на видовой состав, встречаемость и густоту подроста предварительной генерации.
2. Светолюбивый подрост сосны не выдерживает затенения материнским пологом и в возрасте 10-15 лет либо погибает, либо переходит в категорию нежизнеспособного.
3. Проходные рубки создают благоприятные условия для накопления подроста ели сибирской, что нежелательно с хозяйственной точки зрения. В эксплуатационных лесах смена сосняков на ельники снижает производительность древостоев, а в защитных – устойчивость против неблагоприятных природных и антропогенных факторов.
4. Накопление подроста ели препятствует появлению новых поколений подроста сосны обыкновенной.
5. Учитывая нежелательность смены сосняков на ельники в ягодниковом типе леса, можно рекомендовать вырубку подроста ели в процессе рубок спелых и перестойных насаждений, оставляя лишь биогруппы ели на середине пазух. На остальной части лесосеки или вырубки можно рекомендовать минерализацию почвы как меру содействия естественному лесовозобновлению сосной обыкновенной.

Работа выполнена в рамках темы FEUG – 2020 – ООВ «Экологические аспекты рационального природопользования».

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Залесов С.В. Лесоводственная эффективность рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника / С.В. Залесов, А.В. Данчева, А.В. Эбель и др. // ИВУЗ «Лесной журнал», 2016. № 3. С. 21-30.
2. Zalesov S. Silvicultural Efficiency of the Thinning Efficiency of *Pinus sylvestris* L. Plantation in the Dry Subzone of Northern Kazakhstan steppes / S. Zalesov, A. Dancheva, S. Ayan et al. // Kastamani University Journal of Forestry Faculty, 2020, 20 (3). P. 220-228.
3. Данчева А.В. Влияние рубок ухода на биологическую и пожарную устойчивость сосновых древостоев / А.В. Данчева, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала, 2016. № 3 (145). С. 56-61.
4. Ebel A.V. The Effects of Different Intensity of Thinning on the Development in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in Kazakh Upland / A.V. Ebel, Y. I. Ebel, S.V. Zalesov et al. // Alinteri Journal of Agriculture Sciences, 2019. 34 (2): 182-187. DOI: 10.28955/alinterzbd. 639014.
5. Залесов С.В. Рубки ухода в производных мягколиственных молодняках как способ формирования сосняков на Южном Урале / С.В. Залесов, Н.А. Луганский, В.А. Бережнов и др. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2013. № 4. С. 118-120.
6. Оплетаяев А.С. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале / А.С. Оплетаяев, С.В. Залесов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 178 с.
7. Белов Л.А. Опыт переформирования производных мягколиственных насаждений в коренные кедровники / Л.А. Белов, Е.С. Залесова, С.В. Залесов и др. // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2019. № 3 (56). С. 87-91.
8. Эбель А.В. Влияние полноты и густоты на рост сосновых древостоев Казахского мелкосопочника и эффективность рубок ухода в них / А.В. Эбель, Е.И. Эбель, С.В. Залесов и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 221 с.
9. Данчева А.В. Оценка эффективности рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника на основе лесоводственного и древесно-кольцевого анализа / А.В. Данчева, М.А. Гурская, С.В. Залесов и др. // Лесоведение. 2020. № 6. С. 503-514.
10. Залесов С.В. Роль рубок ухода в повышении пожароустойчивости сосняков Казахского мелкосопочника / С.В. Залесов, А.В. Данчева, Б.М. Муканов и др. // Аграрный вестник Урала. 2013. № 6 (112). С. 64-68.
11. Луганский Н.А. Рубки ухода в кедровых лесах с применением селекционного метода / Н.А. Луганский, Л.П. Абрамова, С.В. Залесов и др. // ИВУЗ «Лесной журнал», 2008. № 4. С. 7-12.
12. Залесов С.В. Формирование кедровников рубками ухода на бывших сельскохозяйственных угодьях / С.В. Залесов, Л.А. Белов, А.С. Оплетаяев и др. // Известия вузов Лесной журнал, 2021. № 1. С. 9-19. DOI: 10.37482/0536-2021-1-9-19.
13. Залесов С.В. Лесоводство / С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.
14. Данчева А.В. Влияние рубок ухода на естественное возобновление сосняков Казахского мелкосопочника (на примере ГНПП «Бурабай») / А.В. Данчева, С.В. Залесов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2017. № 3 (48). С. 49-55.
15. Залесов С.В. Влияние проходных рубок на массу и продуктивность ассимиляционного аппарата сосны / С.В. Залесов // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1988. С. 152-160.
16. Данчева А.В. Влияние рубок ухода на состояние средневозрастных сосняков искусственного происхождения / А.В. Данчева, С.В. Залесов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2016. № 2. С. 103-107.

17. Луганский Н.А. Лесоведение / Н.А. Луганский, С.В. Залесов, В.Н. Луганский. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. 432 с.
18. Колесников Б.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 177 с.
19. Залесов С.В. Проходные рубки в сосняках Урала / С.В. Залесов, Н.А. Луганский. – Свердловск: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1989. 128 с.
20. Бунькова Н.П. Основы фитомониторинга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.С. Залесова и др. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
21. Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений: Утв. Приказом Минприроды России от 4.12.2020 г. № 1014.
22. Zalesov S. Using the Wood from improvement felling for assembling small wooden structures / S. Zalesov, R. Damary, Y. Vetoshkin et al. // Increasing the use of wood in the Global bio-economy: 11 th International Scientific Conference Wood EMA. 2018. P. 369-373.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zalesov S.V. Lesovodstvennaya effektivnost' rubok uhoda v sosnyakah Kazahskogo melkosopochnika [Silvicultural efficiency of thinning in the pine forests of the Kazakh chalk forest] / S.V. Zalesov, A.V. Dancheva, A.V. Ebel' et al. // IVUZ «Lesnoj zhurnal», 2016. № 3. P. 21-30. [in Russian]
2. Zalesov S. Silvicultural Efficiency of the Thinning Efficiency of Pinus sylvestris L. Plantation in the Dry Subzone of Northern Kazakhstan steppes / S. Zalesov, A. Dancheva, S. Ayan et al. // Kastamani University Journal of Forestry Faculty, 2020, 20 (3). P. 220-228.
3. Dancheva A.V. Vliyaniye rubok uhoda na biologicheskuyu i pozhnarnuyu ustojchivost' osnovnykh drevostoev [The influence of thinning on the biological and fire resistance of pine stands] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov // Agrar-nyj vestnik Urala, 2016. № 3 (145). P. 56-61. [in Russian]
4. Ebel A.V. The Effects of Different Intensity of Thinning on the Development in Scots Pine (Pinus sylvestris L.) Stands in Kazakh Upland / A.V. Ebel, Y. I. Ebel, S.V. Zalesov et al. // Alinteri Journal of Agriculture Sciences, 2019. 34 (2): 182-187. DOI: 10.28955/alinterzbd. 639014.
5. Zalesov S.V. Rubki uhoda v proizvodnykh myagkolistvennykh mo-lodnyakah kak sposob formirovaniya sosnyakov na YUzhnom Urale [Thinning in derivative soft-leaved young stands as a way of forming pine forests in the Southern Urals] / S.V. Zalesov, N.A. luganskij, V.A. Berezhnov et al. // Vestnik Bashkir-skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2013. № 4. P. 118-120. [in Russian]
6. Opletaev A.S. Pereformirovaniye proizvodnykh myagkolistvennykh nasazhdenij v listvennichniki na YUzhnom Urale [Reformation of derivative soft-leaved plantations into larch forests in the Southern Urals] / A.S. Opletaev, S.V. Za-lesov. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekh. un-t, 2014. 178 p. [in Russian]
7. Belov L.A. Opyt pereformirovaniya proizvodnykh myagkolistven-nykh nasazhdenij v korennyye kedrovniki [The experience of re-forming derivative soft-leaved plantations into indigenous cedar forests] / L.A. Belov, E.S. Zalesova, S.V. Zalesov et al. // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova, 2019. № 3 (56). P. 87-91. [in Russian]
8. Ebel' A.V. Vliyaniye polnoty i gustoty na rost osnovnykh drevo-stoev Kazahskogo melkosopochnika i effektivnost' rubok uhoda v nih [Influence of completeness and density on the growth of pine stands of the Kazakh chalk-hills and the efficiency of thinning in them] / A.V. Ebel', E.I. Ebel', S.V. Zalesov et al. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekh. un-t, 2015. 221 p. [in Russian]
9. Dancheva A.V. Ocenka effektivnosti rubok uhoda v sosnyakah Ka-zahskogo melkosopochnika na osnove lesovodstvennogo i drevesno-kol'cevogo analiza [Evaluation of the efficiency of thinning in the pine forests of the Kazakh Upland based on silvicultural and tree-ring analysis] / A.V. Dancheva, M.A. Gurskaya, S.V. Zalesov et al. // Lesovedenie. 2020. № 6. P. 503-514. [in Russian]
10. Zalesov S.V. Rol' rubok uhoda v povyshenii pozharoustojchivo-sti sosnyakov Kazahskogo melkosopochnika [The role of thinning in improving the fire resistance of pine forests of the Kazakh Upland] / S.V. Zalesov, A.V. Dancheva, B.M. Mukanov, et al. // Agrarnyj vestnik Urala. 2013. № 6 (112). P. 64-68. [in Russian]
11. Luganskij N.A. Rubki uhoda v kedrovnykh lesakh s primeneniem se-lekcionnogo metoda [Thinning in cedar forests using the selection method] / N.A. Luganskij, L.P. Abramova, S.V. Zalesov et al. // IVUZ «Lesnoj zhurnal», 2008. № 4. P. 7-12. [in Russian]
12. Zalesov S.V. Formirovaniye kedrovnikov rubkami uhoda na byvshih sel'skohozyajstvennykh ugod'yah [Formation of stone pine forests by thinning on former agricultural lands] / S.V. Zalesov, L.A. Belov, A.S. Opletaev et al. // Izvestiya vu-zov Lesnoj zhurnal, 2021. № 1. P. 9-19. DOI: 10.37482/0536-2021-1-9-19. [in Russian]
13. Zalesov S.V. Lesovodstvo [Forestry] / S.V. Zalesov. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekh. un-t, 2020. 295 p. [in Russian]
14. Dancheva A.V. Vliyaniye rubok uhoda na estestvennoe vobnovle-nie sosnyakov Kazahskogo melkosopochnika (na primere GNPP «Burabaj») [The influence of thinning on the natural regeneration of pine forests of the Kazakh Upland (on the example of the State Scientific and Production Enterprise "Burabay")] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'sko-hozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova. 2017. № 3 (48). P. 49-55. [in Russian]
15. Zalesov S.V. Vliyaniye prohodnykh rubok na massu i produktivnost' assimilyacionnogo apparata sosny [Influence of logging on the weight and productivity of the pine assimilation apparatus] / S.V. Zalesov // Lesa Urala i ho-zyajstvo v nih. Sverdlovsk: Publishing house Ural. gos. un-ta, 1988. P. 152-160. [in Russian]
16. Dancheva A.V. Vliyaniye rubok uhoda na sostoyaniye srednevozzrast-nykh sosnyakov iskusstvennogo proiskhozhdeniya [Influence of thinning on the condition of middle-aged pine forests of artificial origin] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2016. № 2. P. 103-107. [in Russian]
17. Lugansky N.A. Lesovedenie [Forestry] / N.A. Lugansky, S.V. Zalesov, V.N. Lugansk. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2010.432 p. [in Russian]

18. Kolesnikov B.P. Forest growing conditions and types of forests in the Sverdlovsk region [Forest growing conditions and types of forests in the Sverdlovsk region] / B.P. Kolesnikov, R.S. Zubareva, E.P. Smolonogov. Sverdlovsk: UC AN SSSR, 1973.177 p.
19. Zalesov S.V. Prohodnye rubki v sosnyakah Urala [Continuous felling in the pine forests of the Urals] / S.V. Zalesov, N.A. Luganskij. – Sverdlovsk: Publishing house Ural. gos. un-ta, 1989. 128 p. [in Russian]
20. Bun'kova N.P. Osnovy fitomonitoringa [Phytomonitoring basics] / N.P. Bun'kova, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova et al. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2020. 90 p. [in Russian]
21. Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, sostava proekta lesovosstanovleniya, poryadka razrabotki proekta lesovosstanovleniya i vneseniya v nego izmenenij: Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 4.12.2020 g. № 1014. [in Russian]
22. Zalesov S. Using the Wood from improvement felling for assembling small wooden structures / S. Zalesov, R. Damary, Y. Vetoshkin et al. // Increasing the use of wood in the Global bio-economy: 11 th International Scientific Conference Wood EMA. 2018. P. 369-373.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.030>

ЭРОЗИЯ ПОЧВ И ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ

Научная статья

Хабиров И.К.¹, Сайфуллин Р.Р.², *

¹ Башкирский Государственный аграрный университет, Уфа, Россия;

² НИЦ-1 Научно-исследовательский институт ФСИН России, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (nii.nauka[at]mail.ru)

Аннотация

Одним из показателей биологических свойств почвы и уровня ее плодородия является ее ферментативная активность. В статье рассматриваются вопросы влияния эрозии на ферментативную активность почв. В соответствии с величиной эрозионных процессов в почве отрицательно изменяются количественные показатели гумуса и взаимозависимо с этим, меняется и ферментативная активность почв. В результате проведенных исследований авторам удалось установить прямую зависимость между величиной эродированности почв и степенью уменьшения активности ферментов. Применение противозерозионной обработки почв совместно с внесением минеральных удобрений позволяет повысить ферментативную активность эродированных почв. Вместе с этим оценка эродированных почв в зависимости от степени ферментативной активности не может являться устойчивым маркером при их оценке, ввиду высокой динамичности последних. В системе показателей устойчивости почв целесообразно оперировать величинами запасов ферментов, выраженных в каталах на гектар или единиц массы почвы.

Ключевые слова: органическое вещество, гумусообразование, гумус, минерализация, катал, единица массы почвы, эрозия.

SOIL EROSION AND ENZYMATIC ACTIVITY

Research article

Khabirov I.K.¹, Sayfullin R.R.², *

¹ Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia;

² Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Moscow, Russia

* Corresponding author (nii.nauka[at]mail.ru)

Abstract

One of the indicators of the biological properties of the soil and the level of its fertility is its enzymatic activity. The article discusses the impact of erosion on the enzymatic activity of soils. In accordance with the magnitude of erosion processes in the soil, the quantitative indicators of humus negatively change and, interdependently with this process, the enzymatic activity of soils also changes. As a result of the conducted research, the authors were able to establish a direct relationship between the amount of soil erosion and the degree of decrease in enzyme activity. The use of anti-erosion soil treatment along with the introduction of mineral fertilizers allows to increase the enzymatic activity of eroded soils. At the same time, the assessment of eroded soils, depending on the degree of enzymatic activity, cannot be a stable marker in their assessment due to the high dynamism of the latter. In the system of soil stability indicators, it is advisable to operate with the values of enzyme reserves expressed in kat per hectare or units of soil mass.

Keywords: organic matter, humus formation, humus, mineralization, katal, unit of soil mass, erosion.

Введение

Сельскохозяйственное использование почв не только нарушает соотношение процессов гумусообразования и минерализации, но также является решающим фактором в деградации почв, в частности эрозии [1].

Для разработки рациональных приемов повышения устойчивости почв и их охраны от эрозионного разрушения необходимо детально изучить свойства этих почв, процессы, протекающие в них, и факторы, вызывающие эрозию.

В результате эрозии почв в органическом веществе происходят количественные и качественные изменения. Прослеживается прямая зависимость ферментативной активности от эродированности почв. Степень эродированности можно диагностировать с помощью данных о ферментативной активности, на основании диагностических моделей для оценки почв по ферментативной активности степени их смывости. Экспериментальные материалы подтверждают возможность использования ферментативных тестов наряду с другими показателями для диагностики подверженности почв к эрозии, особенно в периоды восстановления их плодородия [2], [3]. Различные генетические типы и подтипы почв характеризуются устойчивыми показателями ферментативной активности. Например, ферментативная активность почв Республики Башкортостан возрастает от серых лесных почв к черноземам. В группе серых лесных почв она возрастает от светло-серых к темно-серым. В черноземах выщелоченных, типичных и обыкновенных наблюдается высокая активность ферментов, в южных и карбонатных черноземах активность ферментов значительно ниже.

Цель настоящего исследования – изучение влияния эрозионных процессов на активность почвенных ферментов и выявление взаимосвязи ферментативной активности от степени эрозионных процессов в почве.

Основная часть

На основании данных о ферментативной активности и мощности гумусового горизонта мы подсчитали запасы ферментов в различных почвах Республики Башкортостан в каталах на 1 га. Катал – это условная единица измерения количества фермента, т. е. 1 катал соответствует тому количеству фермента, которое способно превращать 1 моль субстрата в продукт за одну секунду [8]. Запасы ферментов неодинаковы в разных типах и подтипах почв, что соответствует общей ферментативной активности, содержанию гумуса и генетическим особенностям почв.

В эродированных почвах по сравнению с полнопрофильными уменьшается мощность гумусового горизонта. Вследствие смыва верхнего слоя почвы и перемешивания пахотного горизонта с нижележащим иллювиальным горизонтом в них уменьшается общее содержание гумуса. В эродированных нечерноземных почвах содержание гумуса при сильной эрозии ниже, чем в неэродированных на 0,91-1,33 %, в черноземах, кроме южных, – на 2,9-3,3 %, а в южных – на 0,65-0,90%. Потери почвы вследствие эрозии достигают значительных размеров. В слабоэродированных почвах теряется до 20 % почвенной массы, в среднеэродированных – до 50%, в сильноэродированных – до 80%. С этой массой выносятся (до 60-70 %) гумуса и большое количество питательных веществ.

Конъюгированно изменяется и ферментативная активность почв. В сильноэродированных почвах по сравнению с неэродированными ферментативная активность снижается до 60 %, в среднеэродированных – до 30 %, в слабоэродированных – менее 20 %.

Статистические характеристики связи ферментативной активности со свойствами почв при изменении их в процессе эрозии показывают, что активность ферментов в значительной степени зависит от мощности гумусового горизонта, от содержания гумуса, общего и легкогидролизуемого азота, углеводов и запасов воды в метровом слое почвы. Связь ферментативной активности с подвижными формами питательных веществ выражена слабее. Хорошо выражена связь активности ферментов азотного обмена (протеазы, уреазы) с нитратным и аммиачным азотом, активности инвертазы и фосфатазы с содержанием нитратного азота. Коэффициенты корреляции колеблются от 0,36 до 0,78. Достоверные связи описываются уравнением линейной регрессии, а в некоторых случаях связь близка параболической. Эрозия обуславливает и безвозвратные потери ферментов из почвы.

Потери ферментов возрастают в ряду почв от слабоэродированных к сильноэродированным. Очень большие потери ферментов наблюдаются в черноземах, меньшие – в серых лесных почвах. Однако потери ферментов по отношению к неэродированной почве примерно одинаковы как в серых лесных почвах, так и в черноземах. В слабоэродированных почвах унесено около 20-30 % ферментов, в среднеэродированных – 40-60%, в сильноэродированных – более 80%. Высокие потери ферментов, вызванные эрозионными процессами, связаны также со снижением ферментативной активности вследствие разрушения защитных механизмов ферментов в почве. Это приводит к тому, что ферментативная активность по сравнению с другими показателями более чутко реагирует на эродированность почв. Следовательно, показатели потери более адекватно характеризуют изменение ферментного потенциала почв при эрозии. Так, очень часто по ферментативной активности слабоэродированные черноземы, где смыв не носит интенсивного характера, не отличаются от неэродированных. Однако при расчете потери ферментов с учетом массы унесенной почвы эти различия четко обнаруживаются.

На основании проведенных полевых опытов, можно сделать вывод, что в результате внесения органических веществ, применения противозерозионной системы обработки почвы на фоне минеральных удобрений можно повысить ферментативную активность эродированных почв. На серых лесных среднеэродированных почвах повышению их ферментативной активности и плодородия способствует чередование отвальной вспашки (на 18-20 см) с безотвальной глубокой обработкой (в 28-30 см), а на слабоэродированном карбонатном черноземе – глубокая вспашка (на 28-30 см) с прерывистым бороздованием. Весной к периоду посева общие запасы влаги в метровом слое обработанных такими способами почв по сравнению с обычной вспашкой увеличились в среднем за 4 года на 54,8- 89,8 мм в карбонатном черноземе и на 40-50 мм в серых лесных почвах. Предотвращение смыва, улучшение гидротермического режима и создание мощного биологически активного пахотного слоя обусловили повышение ферментативной активности в этих почвах до уровня зональных полнопрофильных почв.

Заключение

Таким образом, уровень ферментативной активности тесно связана с эродированностью почв и отзывчива на различные приемы повышения их плодородия. Вместе с тем высокая динамичность показателей активности ферментов может привести к ошибочной оценке степени эродированности, поэтому в системе показателей устойчивости почв целесообразно оперировать величинами запасов ферментов, выраженных в каталах на гектар или единиц массы почвы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Сайфуллин Р.Р. Зависимость уровня плодородия черноземов от систематического применения органических и органоминеральных удобрений / Р.Р. Сайфуллин. – М.: ОнтоПринт, 2018. – 68 с.
2. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев // Экобиотех. 2018. Т.1. № 2. С.80-92.
3. Хабиров И.К. Физические свойства и ферментативная активность почв / И.К. Хабиров // Экологические условия и ферментативная активность почв. Уфа: БФАН СССР. 1979. С. 99-111.
4. Галстян А.Ш. Унификация методов исследования активности ферментов почв / А.Ш. Галстян // Почвоведение. 1978. № 2. С. 107-114.
5. Казеев К.Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2012. 260 с.
6. Казеев К.Ш. Методы биодиагностики наземных экосистем / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, Ю.В. Акименко и др. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2016. 356 с.
7. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения / Ф.Х. Хазиев, А.Е. Гулько // Почвоведение. 1991. № 8. С. 88-103.

8. Номенклатура ферментов [Текст]: Рекомендации Международного биохимического союза по номенклатуре и классификации ферментов, а также по единицам ферментов и символам кинетики ферментативных реакций (с дополнениями по 1975 г.) / Перевод с английского под ред. А.Е. Браунштейна. – М: б. и., 1979. – 321 с.

9. Галстян А.Ш. Изучение ферментативной активности эродированных почв / А.Ш. Галстян, Б.Н. Симонян // Биологический журнал Армении. 1980. Т. 33. № 10. С. 1105.

10. Хазиев Ф.Х. Почвы Башкортостана. Т.1. Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика / Ф.Х. Хазиев, А.Х. Мукатанов, И.К. Хабилов и др. – Уфа: Гилем, 1995. – 384 с.

11. Хазиев Ф.Х. Почвы Башкортостана. Т. 2. Воспроизводство плодородия: зонально-экологические аспекты / Ф.Х. Хазиев, Г.А. Кольцова, Р.Я. Рамазанов и др. – Уфа: Гилем, 1997. – 328 с.

12. Хабилов И. К. Устойчивость почвенных процессов / И. К. Хабилов, И. М. Габбасова, Ф. Х. Хазиев – Уфа: БГАУ, 2001. – 327 с.

13. Габбасова И.М. Деградация и рекультивация почв Башкортостана / И.М. Габбасова. – Уфа: Гилем, 2004. – 284 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sayfullin R.R. Zavisimost' urovnja plodorodija chernozemov ot sistematicheskogo primeneniya organicheskikh i organomineral'nyh udobrenij [Dependence of the level of fertility of chernozems on the systematic use of organic and organomineral fertilizers] / R.R. Sayfullin. - M.: OntoPrint, 2018. - 68 p. [in Russian]

2. Khaziev F.H. Jekologicheskie svjazi fermentativnoj aktivnosti pochv [Ecological connections of enzymatic activity of soils] / F.H. Khaziev // Jekobiotech [Ecobiotech]. 2018. Vol.1. No. 2. pp. 80-92. [in Russian]

3. Khabirov I.K. Fizicheskie svojstva i fermentativnaja aktivnost' pochv [Physical properties and enzymatic activity of soils] / I.K. Khabirov // Jekologicheskie uslovija i fermentativnaja aktivnost' pochv [Ecological conditions and enzymatic activity of soils]. Ufa: BFAN USSR. 1979. pp. 99-111. [in Russian]

4. Galstyan A.Sh. Unifikacija metodov issledovanija aktivnosti fermentov pochv [Unification of methods for studying the activity of soil enzymes] / A.Sh. Galstyan // Pochvovedenie [Soil science]. 1978. No. 2. pp. 107-114. [in Russian]

5. Kazeev K.Sh. Biodiagnostika pochv: metodologija i metody issledovanij [Biodiagnostics of soils: methodology and research methods] / K.Sh. Kazeev, S.I. Kolesnikov. Rostov-on-Don: SFU, 2012. 260 p. [in Russian]

6. Kazeev K.Sh. Metody biodiagnostiki nazemnyh jekosistem [Methods of biodiagnostics of terrestrial ecosystems] / K.Sh. Kazeev, S.I. Kolesnikov, Yu.V. Akimenko et al. Rostov-on-Don: SFU, 2016. 356 p. [in Russian]

7. Khaziev F.H. Fermentativnaja aktivnost' pochv agrocenozov i perspektivy ee izuchenija [Enzymatic activity of soils of agrocenoses and prospects for its study] / F.H. Khaziev, A.E. Gulko // Soil science. 1991. No. 8. pp. 88-103. [in Russian]

8. Nomenklatura fermentov [Текст]: Rekomendacii Mezhdunarodnogo biohimicheskogo sojuza po nomenklature i klassifikacii fermentov, a takzhe po edinicam fermentov i simbolam kinetiki fermentativnyh reakcij (s dopolnenijami po 1975 g.) [Nomenclature of enzymes [Text]: Recommendations of the International Biochemical Union on the nomenclature and classification of enzymes, as well as on enzyme units and symbols of the kinetics of enzymatic reactions (with additions to 1975)] / Translated from English by A.E. Braunstein. - M: B. I., 1979-- - 321 p. [in Russian]

9. Galstyan A.S. Izuchenie fermentativnoj aktivnosti jerodirovannyh pochv [The study of enzymatic activity of eroded soils] / A.S. Galstyan, B.N. Simonyan // Biologicheskij zhurnal Armenii [Biological Journal of Armenia]. 1980. Vol. 33. No. 10. p. 1105. [in Russian]

10. Khaziev F.H. Pochvy Bashkortostana. Jekologo-geneticheskaja i agroproduktivnaja harakteristika [Soils of Bashkortostan. Vol. 1. Ecological-genetic and agricultural characteristics] / F.H. Khaziev, A.H. Mukatanov, I.K. Khabirov et al. - Ufa: Gilem, 1995. - 384 p. [in Russian]

11. Khaziev F.H. Pochvy Bashkortostana. Vosproizvodstvo plodorodija: zonal'no-jekologicheskie aspekty [Soils of Bashkortostan. Vol. 2. Reproduction of fertility: zonal and ecological aspects] / F.H. Khaziev, G.A. Koltsova, R.Ya. Ramazanov et al. - Ufa: Gilem, 1997. - 328 p. [in Russian]

12. Khabirov I. K. Ustojchivost' pochvennyh processov [Stability of soil processes] / I. K. Khabirov, I. M. Gabbasova, F. H. Khaziev - Ufa: BGAU, 2001. - 327 p. [in Russian]

13. Gabbasova I.M. Degradacija i rekul'tivacija pochv Bashkortostana [Degradation and recultivation of soils of Bashkortostan] / I.M. Gabbasova. - Ufa: Gilem, 2004. - 284 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.031>

ВЛИЯНИЕ СХЕМ ПОСАДКИ И ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ВЫХОД САЖЕНЦЕВ

Научная статья

Юнин В.А.¹, Захаров А.М.², Зыков А.В.³*, Безух Е.П.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;

² ORCID: 0000-0002-8111-1727;

³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;

^{1, 2, 3, 4} Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (sznii[at]internet.ru)

Аннотация

Целью исследования является изучение уплотненных схем посадки, мульчирование междурядий и различных приемов стимулирования боковых ветвей, способствующих экологической безопасности природной среды и повышению качества и количества выпускаемого посадочного материала плодовых культур. Новизна исследований состоит в разработке новой системы выращивания однолетних разветвленных высококачественных саженцев в малогабаритных пленочных теплицах по уплотненным схемам посадкам. На Северо-Западе РФ исследования выполняются впервые. По результатам проведенной в 2020 г. работы изучено и обосновано влияния двух схем посадки зимних прививок яблони и груши в пленочных малогабаритных теплицах размером 50x4x2.5 м. Выявлено, что на биометрические показатели и выход саженцев с единицы площади наиболее эффективное влияние оказала схема посадки 40+20+20x15 см. При которой выход саженцев яблони составил 224 тыс. шт. с 1 га. Мульчирование междурядий посадок разными материалами показало преимущества черной тканой рогожки. Она не только хорошо пропускала воду и растворенные в ней минеральные вещества, но и предохраняла почву от лишнего рыхления и мер по борьбе с сорной растительностью, что значительно сэкономило средства. К тому же рогожка оказалась намного прочней и долговечнее черного спанбонда. Выявлено, что мульчирование предохраняло почву от уплотнения. Лучшим приемом стимуляции бокового ветвления саженцев признана выщипка верхних листьев, которая дает более высокорослые растения с более тупыми углами отхождения ветвей. Важно проводить выщипку не менее 6 раз через каждую неделю при высоком агрофоне выращивания.

Ключевые слова: схема посадки, саженцы, открытый грунт, продуктивность, биометрические показатели.

THE INFLUENCE OF PLANTING AND GROWING SCHEMES OF FRUIT CROP PLANTING MATERIAL ON BIOMETRIC INDICATORS AND SEEDLING YIELD

Research article

Yunin V.A.¹, Zakharov A.M.², Zykov A.V.³*, Bezukh E.P.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;

² ORCID: 0000-0002-8111-1727;

³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;

^{1, 2, 3, 4} Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, branch of the All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization, Saint Petersburg, Russia Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (sznii[at]internet.ru)

Abstract

The aim of the study is to examine compacted planting schemes, mulching of row spacing and various methods of stimulating lateral branches that contribute to the safety of the natural environment and improve the quality and quantity of the planting material produced by fruit crops. The novelty of the research lies in the development of a new system for growing annual branched high-quality seedlings in small-sized film greenhouses according to compacted planting schemes. In the North-West of the Russian Federation, the research is being carried out for the first time. Based on the results of the research carried out in 2020, the current article studies and substantiates the influence of two schemes of planting winter inoculation of apple and pear trees in small-sized film greenhouses with a size of 50x4x2.5 m. The study finds that the planting scheme 40+20+20x15 cm was the most effective in terms of its impact on biometric indicators and the yield of seedlings per unit area. At which the yield of apple seedlings amounted to 224 thousand from 1 ha. Mulching of row spacing of plantings with different materials showed the advantages of black woven matting. It not only successfully passed water and minerals dissolved in it but also protected the soil from unnecessary loosening and weed control measures, which significantly saved monetary resources. In addition, the matting was observed to be much stronger and more durable than black spunbond. The study also finds that mulching protected the soil from compaction. The best method of stimulating the lateral branching of seedlings is the plucking of the upper leaves, which results in taller plants with more obtuse angles of branch union. With a high soil preparation, it is important to carry out plucking at least 6 times every week.

Keywords: planting scheme, seedlings, open ground, productivity, biometric indicators.

Введение

Выращивание посадочного материала плодовых культур в защищенном грунте является по большей части экологически чистой технологией. Однако эта технология оказывает и негативное влияние на окружающую среду. Поскольку теплица является закрытым объемом, то и вредное влияние, которое она оказывает на внешнюю среду, ограничивается покрытием теплицы. Все процессы, которые протекают внутри теплицы (внесение удобрений, обработка почвы гербицидами, поливы, обработка растений ядохимикатами и т. д.) не выходя наружу. Вся

экологическая нагрузка ложится на почву и это в первую очередь негативное влияние минеральных удобрений, внесение гербицидов, воздействие ядохимикатов используемых для защиты растений от болезней и вредителей, уплотнение почвы поливами и частыми мелкими обработками и в связи с интенсификацией производства и увеличением количества растений на единице площади происходит резкое возрастание корневого и листового опада, что приводит к почвоутомлению, которое ограничивает использование технологии 3-4 годами.

Негативного экологического вреда технология саженцам не наносит. Ведь такового понятия как экологически чистые саженцы не существует. Отрицательное влияние многие используемые агроприемы могут оказывать лишь на качественные показатели саженцев и их устойчивость к почвенно-климатическим условиям будущего произрастания.

Для закладки садов интенсивного типа требуется большое количество посадочного материала высокого качества. Причем посадочный материал, должен отвечать строго определенным требованиям конкретного типа плодового насаждения, размещенного в конкретной почвенно-климатической зоне. Одним из способов повышения урожайности садов интенсивного типа является их закладка разветвленными саженцами [1], [2], [3], [4]. Такая закладка садов позволяет быстро окупить затраты на их закладку и эксплуатацию [5], [6], [7]. Повысить качественные характеристики посадочного материала яблони и груши можно путем производства саженцев с разветвленной надземной частью, вместо выращиваемых в настоящее время неразветвленных саженцев [8], [9]. Кроме того, этот прием часто используется для сокращения сроков выращивания и снижения стоимости посадочного материала. Практики выращивания разветвленных однолетних саженцев плодовых культур в питомниках Северо-Запада в настоящее время не существует.

Цель исследования – Определить зависимость продуктивности растений в биологизированной ресурсосберегающей технологии выращивания посадочного материала плодовых культур от типа мульчирования междурядья.

Методика проведения исследований

Научные исследования были выполнены в 2017 - 2020 г. в питомнике «Красная Славянка». Было проведено изучение двух схем посадки саженцев яблони и груши в малогабаритных пленочных теплицах размером 50x4x2.5 м. – 40x15 см и 40+20+20x15 см. В опытах был задействован один сорт яблони Осеннее полосатое и два сорта груши Лада и Чижевская, привитые на вегетативно размножаемый подвой 54-118 и сеянцы груши сорта Северянка. Повторность опытов трехкратная, размещение вариантов рендомизированное. В качестве мульчи для междурядий был использован черный спанбонд и черная тканая рогожка. Для измерения температуры почвы под каждым мульчирующим материалом были установлены почвенные термометры Савинова на глубину 5, 10, 20 см.

Результаты наблюдений, анализы и обработку данных в исследованиях проводили согласно общепринятой в плодоводстве методике [10]. Оценку качества саженцев яблони осуществляли на основании существующего ГОСТу-53135-2008. Статистическую обработку результатов исследований осуществляли методом дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждения

Изучая влияние различных схем посадки зимних прививок плодовых культур в пленочных теплицах на биометрические показатели и выход саженцев, при однострочной и трехстрочной схемах посадки зимних прививок яблони и груши в грунт теплицы саженцы по высоте и диаметру при однострочной посадке не уступали трехстрочной (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Биометрические показатели, приживаемость и выход саженцев при разных схемах посадки, сентябрь 2020 г.

Схема посадки									
однострочная					трехстрочная				
Высота саженца, см	Диаметр штамба, мм	Приживаемость, %	Выход с 1 п.м.	Выход в пересчете с 1 га, тыс. шт.	Высота саженца, см	Диаметр штамба, мм	Приживаемость, %	Выход с 1 п.м.	Выход в пересчете с 1 га, тыс. шт.
Яблоня - Осеннее полосатое									
106	8,2	86	6,0	144,0	99,6	8,0	90,0	19,0	224,0
Груша - Лада									
98,8	8,1	88	6,0	147,0	94,0	8,0	87,0	18,0	217,0
Груша - Чижевская									
100,4	8,1	87	6,0	145,0	95,3	8,0	89,0	19,0	222,0

Но все же при трехстрочной посадке саженцы несколько уступали по высоте и диаметру саженцам при однострочной посадке. Что же касается выхода саженцев с единицы площади, то тут картина иная. Видно, что выход стандартных саженцев при трехстрочной посадке в 1,6 раза выше, чем при однострочной схеме посадки.

При проведении работ по замеру температурного режима почвы под разными мульчирующими материалами выявлено, что он распределялся по-разному на разных глубинах в зависимости от месяца проведения (см. таблицу. 2).

Таблица 2 – Температура почвы на разных глубинах при выращивании саженцев с использованием различных мульчирующих материалов по месяцам

Мульчирующий материал	Месяц															НСР _{0,5}
	май			июнь			июль			август			сентябрь			
	Глубина измерения, см															
	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	
Ткань	19	15	15	26	21	20	23	21	21	26	23	21	13	12	13	23,9
Рогожка	20	17	17	28	22	21	25	22	23	29	24	23	15	13	14	23,2
Земля	20	15	14	30	21	20	25	21	20	28	22	21	15	12	12	27,3

Наиболее высокой она была в верхнем 5 см слое. В десятисантиметровом и 20 см слое она была примерно одинаковой, а если и колебалась, то не более чем 1⁰С в ту или иную сторону. Наилучшие результаты получены под черной тканой рогожкой. К тому же данный материал обладал хорошей пропускной способностью влаги и растворенных в ней минеральных веществ. Ход суточной температуры можно отследить по таблице 3.

Таблица 3 – Ход суточной температуры почвы на разных глубинах при выращивании саженцев с использованием различных мульчирующих материалов, июнь 2020 г.

Мульчирующий материал	Время измерения, час.															НСР _{0,5}
	9			12			15			18			21			
	Глубина измерения, см															
	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	
Ткань	20	21	22	23	21	22	25	22	22	23	22	22	21	22	22	5,1
Рогожка	22	23	24	25	23	24	27	24	24	25	24	24	23	23	23	4,9
Земля	25	22	22	25	22	22	26	22	22	22	21	21	20	20	21	8,02

Где видно, что с утра идет постепенный прогрев почвы, особенно до 12 часов в верхнем 5 см слое. С 15 часов идет прогрев и 10 см слоя. На глубине 20 см температурный режим почвы остается стабильным в течение всех суток. Лучшим по температурному режиму для растений признано мульчирование рогожкой.

В экспериментах проводился замер твердости почвы под разными мульчирующими материалами. Твердость почвы в зависимости от типа мульчирующего материала в начале сезона и в конце его на разных глубинах замеренная Голландским прибором Penetrologger фирмы Eijkelkamp представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Твердость почвы в зависимости от типа мульчирующего материала

Тип мульчирования	Глубина измерения, см						
	5	10	15	20	25	30	35
В начале сезона	0,17	0,18	0,19	0,20	0,23	0,67	1,10
В конце сезона							
Черный спандбонд	0,60	0,61	0,63	0,68	0,70	0,89	1,12
Черная рогожка	0,50	0,62	0,67	0,69	0,70	0,78	1,25
Без мульчирования	0,69	0,70	0,73	0,74	0,76	1,01	1,23
Между растениями в ряду	0,42	0,48	0,48	0,49	0,50	0,73	1,25

Как видно из данных представленных в таблице 4 почва в междурядьях обладала достаточной мягкостью во всех вариантах мульчирования, не особо отличаясь друг от друга. Однако в варианте без мульчирования уплотнение проявлялось сильнее, особенно на глубине 30 см.

Заключение

По результатам работы изучено и обосновано влияния двух схем посадки зимних прививок яблони и груши в пленочные малогабаритные теплицы. Выявлено, что на биометрические показатели и выход саженцев с единицы площади наиболее эффективное влияние оказала схема посадки 40+20+20х15 см. при которой выход саженцев яблони и груши составил 224 тыс. шт. с 1 га.

Мульчирование междурядий посадок саженцев разными материалами показало преимущества черной тканой рогожки. Она не только хорошо пропускала воду и растворенные в ней минеральные вещества, но и предохраняла почву от лишних рыхлений и мер по борьбе с сорной растительностью, что значительно экономило средства. К тому же рогожка оказалась намного прочней и долговечнее черного спандбонда. Выявлено, что мульчирование предохраняло почву от чрезмерного уплотнения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Безух Е.П. Выращивание посадочного материала плодовых культур на Северо-Западе РФ / Е.П. Безух. декабрь, 2020. 201 с.
2. Перекопкий А.Н. Методология построения зонально-адаптивной машинной технологии производства плодов и ягод с минимальным антропогенным риском для качества продукции и окружающей среды / А.Н. Перекопкий // Известия Международной академии аграрного образования 2021 № 53 С.14-17.
3. Theron K. I. Induction of proleptic shoot formation on pome fruit nursery trees / K. I. Theron, W. J. Stein, G. Jacobs // Acta Hort., 2000. № 514. P. 235-244.
4. Безух Е.П. Использование мульчирующих материалов при выращивании саженцев яблони и груши в малогабаритных пленочных теплицах / Е.П. Безух // Аграрная наука. 2021; (7-8):109-114.
5. Yunin V.A. Substantiating the parameters of the process of adding liquid preservatives to plant materials / V.A. Yunin // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2021. Vol. 16. № 2. - P. 242-247.
6. Егоров Е.А. Экономическая эффективность высокоплотных садов / Е.А. Егоров // Состояние и пути повышения эффективности садоводства Краснодарского края. Краснодар, 1997. С. 35-48.
7. Каширская О.В. Ветвление однолетних саженцев яблони под влиянием агротехнических приемов / О.В. Каширская // Вестник МичГАУ. Мичуринск, 2011. № 1. Ч. 1. С. 55–58.
8. Говорущенко Н.В. Наиболее эффективные приемы, усиливающие ветвление саженцев яблони / Н.В. Говорущенко // Садоводство и виноградарство. 2006. № 3. С. 16–18.
9. Безух Е.П. Приемы стимулирования ветвления однолетних саженцев яблони в условиях защищенного грунта / Е.П. Безух // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 16. С. 16-19.
10. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.

Список литературы на английском языке / References in English*

1. Bezux E.P. Vy`rashhivanie posadochnogo materiala plodovy`x kul`tur na Severo-Zapade RF [Cultivation of planting material of fruit crops in the North-West of the Russian Federation] / E.P. Bezux. dekabr`, 2020. 201 p. [in Russian]
2. Perekopkij A.N. Metodologiya postroeniya zonal'no-adaptivnoj mashinnoj texnologii proizvodstva plodov i yagod s minimal'ny`m antropogenny`m riskom dlya kachestva produkcii i okruzhayushhej sredy` [Methodology for constructing a zonal adaptive machine technology for the production of fruits and berries with minimal anthropogenic risk for product quality and the environment] / A.N. Perekopkij // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya, 2021. - № 53. - P. 14-17. [in Russian]
3. Theron K. I. Induction of proleptic shoot formation on pome fruit nursery trees / K. I. Theron, W. J. Stein, G. Jacobs // Acta Hort., 2000. № 514. P. 235-244.
4. Bezux E.P. Ispol`zovanie mul`chiruyushhix materialov pri vy`rashhivanii sazhencev yablони i grushi v malogabaritny`x plenochny`x tepliczah. [The use of mulching materials in the cultivation of apple and pear seedlings in small-sized film greenhouses] / E.P. Bezux // Agrarnaya nauka. 2021; (7-8):109-114. [in Russian]
5. Yunin V.A. Substantiating the parameters of the process of adding liquid preservatives to plant materials / V.A. Yunin // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2021. Vol. 16. № 2. - P. 242-247.
6. Egorov E.A. E`konomicheskaya e`ffektivnost` vy`sokoplotny`x sadov [Economic efficiency of high-density gardens] / E.A. Egorov // Sostoyanie i puti povы`sheniya e`ffektivnosti sadovodstva Krasnodarskogo kraya. Krasnodar, 1997. P. 35-48. [in Russian]
7. Kashirskaya O.V. Vetvlenie odnoletnix sazhencev yablони pod vliyaniem agrotekhnicheskix priemov [Branching of annual apple seedlings under the influence of agrotechnical techniques] / O.V. Kashirskaya // Vestnik MichGAU. Michurinsk, 2011. № 1. Part. 1. P. 55–58. [in Russian]
8. Govorushhenko N.V. Naibolee e`ffektivny`e priemy`, usilivayushhie vetvlenie sazhencev yablони [The most effective techniques that enhance the branching of apple seedlings] / N.V. Govorushhenko // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2006. № 3. P. 16–18. [in Russian]
9. Bezux E.P. Priemy` stimulirovaniya vetvleniya odnoletnix sazhencev yablони v usloviyax zashhishhennogo grunta [Methods of stimulating the branching of annual apple seedlings in protected ground conditions] / E.P. Bezux // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. 2013. № 16. P. 16-19. [in Russian]
10. Programma i metodika sortoizucheniya plodovy`x, yagodny`x i orexoplodny`x kul`tur [The program and methodology of variety studies of fruit, berry and nut crops] / ed. E.N. Sedova i T.P. Ogoł`czovoj. Орел: VNIISPK, 1999. 608 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.032>

**ПОИСК СШИВАЮЩИХ АГЕНТОВ
ДЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СОСТАВОВ**

Научная статья

Малеев А.И.^{1,*}, Товбис М.С.²

^{1,2} Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
Красноярск, Россия

* Корреспондирующий автор (maleevai220991[at]gmail.com)

Аннотация

Для увеличения водоустойчивости водногелевых высокоэнергетических промышленных составов на основе гуаргама произведен подбор и исследование новых органических высокоэнергетических типов сшивателей, способных увеличить устойчивость колонки заряда при нахождении в обводненных скважинах с проточной и стоячей водой.

Проведен анализ влияния органических сшивателей на физико-химические свойства промышленных составов. Подготовка и введение активных органических группировок для увеличения реакционной способности гуаргама и сшивающих агентов, уменьшения времени пространственной сшивки макромолекул гуаргама, увеличение водоустойчивость колонки заряда без уменьшения детонационных свойств исходного промышленного состава.

Ключевые слова: Гуаргам, промышленные, высокоэнергетические составы, меламин, галактоманнан.

SEARCH FOR CROSSLINKING AGENTS FOR HIGH-ENERGY INDUSTRIAL COMPOUNDS

Research article

Maleev A.I.^{1,*}, Tovbis M.S.²

^{1,2} Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

* Corresponding author (maleevai220991[at]gmail.com)

Abstract

To increase the waterproof qualities of water-gel high-energy industrial compositions based on guar gum, the current study selects and studies new organic high-energy types of crosslinkers capable of increasing the stability of the charge column when flooded wells with flowing and standing water.

The authors carry out an analysis of the influence of organic staplers on the physicochemical properties of industrial compounds. Preparation and introduction of active organic groupings to increase the reactivity of guar gum and crosslinking agents, reduce the time of spatial crosslinking of guar gum macromolecules, increase the water resistance of the charge column without reducing the detonation properties of the initial industrial composition.

Keywords: Guar gum, industrial, high-energy compounds, melamine, galactomannan.

Энергонасыщенные материалы широко применяются в промышленности, как высококонцентрированный источник энергии. Практически весь объем руд черных и цветных металлов в нашей стране добывают открытым горным способом. Массовые взрывы широко применяются при вскрытии рудных тел, угольных пластов и других полезных ископаемых.

Энергонасыщенные материалы широко применяются при взрывных способах обработки металлов в машиностроении и металлургии – штамповке, сварке, упрочнении деталей машин, резании металлов; при сейсморазведке, перфорации нефтяных скважин, при тушении лесных пожаров и т. д.

Продолжается поиск и исследование дальнейших путей использования и управления энергией взрыва. Эффективность и безопасность отдельных видов взрывных работ в большой степени зависят от применяемых энергонасыщенных материалов. Многообразие условий применения и широкий диапазон технических требований к промышленным энергонасыщенным материалам обуславливают различия их по химическому составу, физическим и взрывчатым свойствам [1].

В настоящее время энергонасыщенные материалы классифицируют по нескольким признакам: по характерной в условиях эксплуатации форме химического превращения, по чувствительности к простым видам внешнего воздействия, по химической природе или составу, по условиям применения.

В зависимости от формы химического превращения и назначения энергонасыщенные материалы подразделяют на три класса: метательные (пороха), бризантные энергонасыщенные и пиротехнические составы.

Пороха — это вещества, способные к устойчивому горению и применяемые в качестве метательных средств.

К бризантным относятся вещества, способные к устойчивой детонации и используемые во взрывной технике как средство дробления, разрушения горных пород, сооружений, конструкций и других целей. Из бризантных выделяют подкласс инициирующих, применяемых только в средствах инициирования.

К пиротехническим составам относят большую и разнообразную по химическому составу группу смесей, содержащих окислитель и горючее и применяемых в пиротехнических изделиях различного назначения. Среди них имеются смеси, обладающие всеми признаками взрывчатости. Эти составы в условиях применения, как правило, срабатывают в условиях взрывного горения.

По чувствительности к простым формам начального импульса бризантные вещества подразделяются на первичные (инициирующие) и вторичные.

По химическому составу энергонасыщенные материалы подразделяют на индивидуальные соединения и смеси.

Все применяемые смесевые энергонасыщенные материалы можно отнести к двум основным типам: состоящим из окислителя и горючего и состоящим из одного или нескольких индивидуальных энергонасыщенных веществ и различного рода добавок, обеспечивающих заданные технологические или эксплуатационные свойства смеси [2].

Энергонасыщенные смеси первого типа (окислитель-горючее) широко представлены в современном ассортименте промышленных энергонасыщенных материалов. В отличие от взрыва индивидуальных соединений взрывчатое превращение смеси данного типа происходит в две стадии. Сначала разложение или газификация одного или нескольких компонентов, затем взаимодействие продуктов газификации между собой или с частицами неразлагающегося компонента. При этом компоненты смеси могут быть как взрывчатыми, так и не взрывчатыми. Такие энергонасыщенные смеси имеют ряд преимуществ перед индивидуальными:

- они экономичны;
- позволяют регулировать состав продуктов и тепловые эффекты взрыва.

К их недостаткам можно отнести пониженную детонационную способность и меньшую физическую стабильность.

В качестве окислителей в большинстве случаев применяют минеральные соли, способные при разложении выделять свободный кислород.

В качестве горючего используют высококалорийные органические соединения.

Промышленные энергонасыщенные материалы можно сгруппировать следующим образом: индивидуальные вещества типа нитросоединений, нитратов, нитраминов и их смеси, включая смеси с металлами;

Смеси на основе аммиачной селитры:

- смеси гранулированной аммиачной селитры с невзрывчатыми горючими органическими составами;
- смеси аммиачной селитрой с тринитротолуолом или другими нитросоединениями (аммониты);
- смеси аммиачной селитры с алюминием или другими металлами (аммонолы);
- водосодержащие смеси, пластифицированные водным гелем.

Самыми распространёнными промышленными энергонасыщенными материалами в настоящее время являются водонаполненные смеси аммиачной селитры и дизельного топлива. Эти смеси представляют собой устойчивую эмульсию второго рода, например расплав аммиачной селитры в дизельном топливе (горячельющиеся). Либо суспензия аммиачной селитры, дизельного топлива и других горючих веществ с добавлением полимеров, которые придают смеси матричную структуру и необходимые технологические свойства (гуаргам, сесбания и др.) [3].

Огромным преимуществом таких смесей являются их высокая плотность и концентрация энергии, широкий диапазон изменения по компонентному составу, высокую химическую стабильность. Для придания смеси рабочих свойств необходимо сначала провести сенсбилизацию химическую или механическую. Также стоит отметить более высокую по сравнению с насыпными или порошкообразными промышленными энергонасыщенными материалами водоустойчивость. Такие смеси могут до нескольких недель находиться под столбом воды без потери формы колонки заряда и своих свойств. Простота технологии изготовления и безопасные условия хранения и транспортировки выводят водонаполненные составы на передовые позиции по использованию во всем мире.

Наиболее передовыми составами при проведении вскрышных работ на карьерах открытого типа являются водногелевые промышленные составы, которые и получили широкое применение. В таких составах в качестве гелеобразователя используют гуаровую камедь (гуаргам) (Рис. 1). Гуаргам служит для стабилизации перенасыщенного раствора аммиачной селитры в воде, создания устойчивого геля, препятствует оседанию частиц аммиачной селитры, способствует равномерному распределению дизельного топлива и других жидких компонентов по всему объему состава. Для приготовления такого состава не требуется много энергии на нагрев, поскольку не требуется приготовление плава аммиачной селитры [5].

Основным рабочим веществом гуаргама является галактоманнан — группа гетерополисахаридов, молекулы которых состоят из остатков галактозы и маннозы в разных соотношениях, при этом манноза образует скелет с присоединёнными боковыми остатками галактозы по которым в последствии происходит пространственная сшивка макромолекул галактоманнана. Полученный сшитый полимер хорошо сохраняет форму, препятствует быстрому размытию колонки заряда [4].

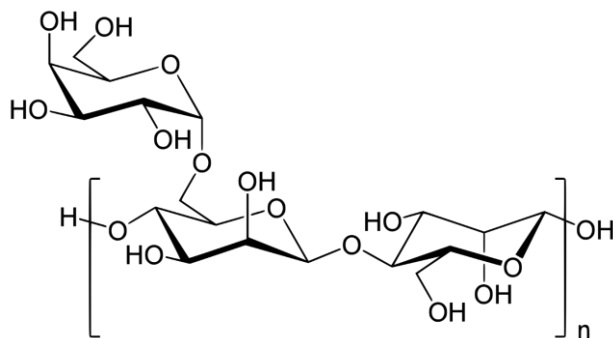


Рис. 1 – Структурный фрагмент молекулы галактоманнана

Таким образом, полученные на основе гуаргама составы обладают высокими энергетическими и технологическими характеристиками, текучестью, что позволяет производить зарядку с использованием специальной техники, расширяет количество применяемых составов, а высокая плотность смеси до ее химической или механической сенсбилизации приводит к снижению чувствительности смеси к удару и трению. Смеси аммиачной селитры с плотностью выше 1,3 г/см³ полностью теряют способность к взрывчатому превращению.

Однако, использование таких высокоэнергетических смесей на обводненных скважинах с высокой проточностью, на блоках, которые выстаиваются в течение суток или более, может привести к размытию колонки заряда, к разрушению матричной структуры промышленной смеси, вымыванию аммиачной селитры и других компонентов смеси из колонки заряда, и, как следствие, отсутствие передачи инициирующего импульса от шашки детонатора на колонку заряда [9].

Цель исследования заключалась в поиске высоко энергетической органической добавки, способной быстро образовывать пространственные связи между макромолекулами галактоманнана в широком диапазоне рН, образовывать водоустойчивую матричную структуру, препятствовать размытию колонки заряда при длительном её нахождении в проточной или стоячей воде.

Поиск проводился среди соединений, содержащих несколько реакционноспособных групп, для образования связей между макромолекулами полимера, а также содержащих атомы азота. В качестве такого соединения был взят меламин из-за его низкой растворимости в воде, наличию гетероцикла с тремя атомами азота, реакционной способности по аминогруппам [8].

Первый этап эксперимента заключался в добавлении навески меламин в высокоэнергетический промышленный состав для определения его влияния на физико-химические свойства состава [10]. Были проведены замеры скорости детонации проб в пластиковых трубах с одинаковыми показателями по весу и плотности ВВ. В результате эксперимента было выяснено, что отрицательного эффекта на скорость детонации навеска меламин не производит. Данный вывод подтверждается графиками замеров скорости детонации (рис 2 и 3) [6].

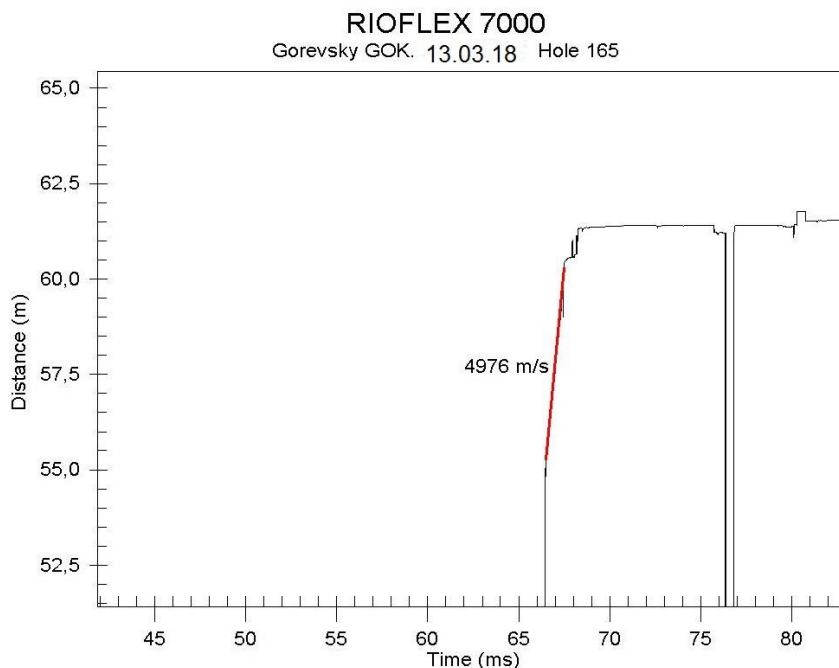


Рис. 2 – Скорость детонации ПВВ Риофлекс 7000 без добавления меламин

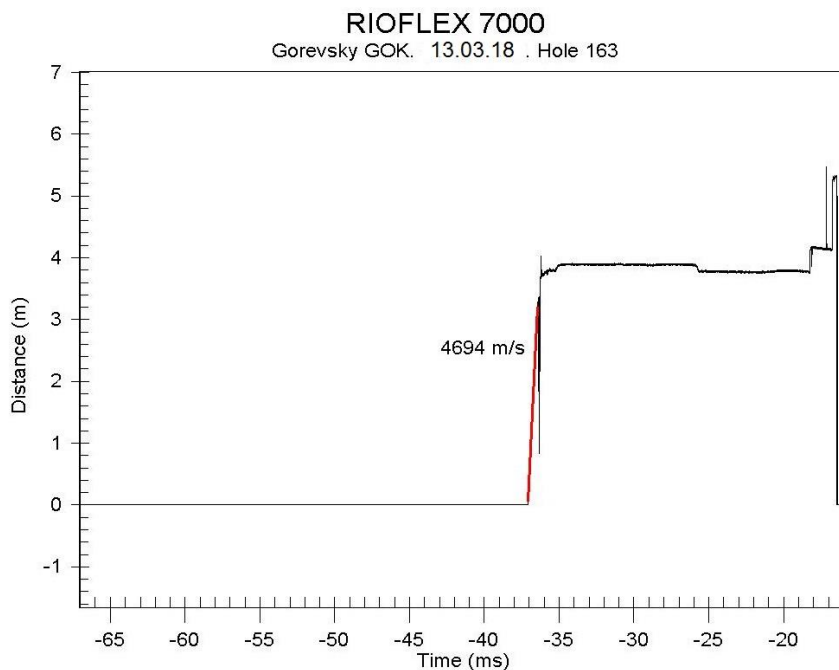


Рис. 3 – Скорость детонации ПВВ Риофлекс 7000 с добавлением меламин

Второй этап заключался в замещении атома водорода в аминогруппах меламина на более реакционноспособную группировку. В качестве реагента была выбрана монохлоруксусная кислота. Монохлорацетильная группа обладает большей реакционной способностью по сравнению с обычной ацетогруппой. Теоретически монохлорацетильные группы должны вступить в реакцию с гидроксильными группами галактоманна и образовать поперечные связи. Увеличение количества таких связей приведет к повышению водоустойчивости состава за счет плохой растворимости в воде меламина и его соединений [7].

Третьим этапом эксперимента было карбоксиметилирование галактоманна. Его состав и строение очень схож с целлюлозой. Галактоманн имеет гидроксильные группы, которые и являются реакционными центрами при протекании процесса пространственной сшивки. Представляется возможным увеличить реакционную способность и чувствительность к различным сшивающим агентам, заменив гидроксильные группы на карбоксиметильные группировки.

Реакцию ацилирования проводили уксусным ангидридом в среде метанола с последующей щелочной промывкой. Полученный карбоксиметилenguар сохраняет способность к пластификации водой, а также приобретает реакционную способность по карбоксильным группам.

Необходимо проводить дальнейшие испытания, чтобы определить возможность применения и производства модифицированного гелеобразователя и выгоду от его применения при производстве высокоэнергетических промышленных составов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Дубнов Л. В. Промышленные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревич, А. И. Романов. М.: Недра, 1988, 358 с.
2. Гринов С. А. Высококцентрированные суспензии наночастиц аммиачной селитры - основа эмульсионных взрывчатых веществ [Текст] / С. А. Гринов, И.Ю. Маслов, Е.П. Робина // Безопасность труда в промышленности. - 2013. - № 10. - С. 44-47.
3. Викторов С. Д. Взрывчатые вещества без взрывчатых компонентов - основа прогресса в горном деле / С. Д. Викторов, Б. Н. Кутузов, В. М. Закалинский // Горный журнал. - 2008. - № 12. - С. 47-50.
4. Амир Ж. А. Испытания образцов эмульсионного взрывчатого вещества Senatel Magnum до и после введения маркирующей композиции на взрывчатые свойства и критерии безопасности / Ж. А. Амир, Д. А. Байсейтов, С. Е. Гизатова и др. // Безопасность труда в промышленности. - 2021. - № 6. - С. 75-81.
5. Гончарук В. В. Реологические свойства и водоудерживающая способность гидрогелей агар-агара с карбоксиметилцеллюлозой / В. В. Гончарук, Л. В. Дубровина // Журнал прикладной химии. - 2020. - Т. 93, вып. 7. - С. 980-987.
6. Федорова В. В. Влияние пластифицирующих добавок на прочностные характеристики формовочного гипса / В. В. Федорова, Л. И. Сычева, Д. В. Харитонов и др. // Стекло и керамика. - 2020. - № 5. - С. 47-50.
7. Малеев А.И. Поиск сшивающих агентов для гуаргама и изучение их свойств / А.И. Малеев, В.П. Конышев, М.С. Товбис // Сборник Всероссийской конференции «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения». – 2019. – Т. 1. – С. 356-357.
8. Кирюхин Д. П. Новые гидрофобные материалы на основе радиационно-синтезированных теломеров тетрафторэтилена и меламиновой губки / Д. П. Кирюхин, Г. А. Кичигина, П. П. Куц и др. // Российский Химический Журнал (ЖРХО им. Д. И. Менделеева). - 2021. - Т. 65, № 3. - С. 42-50.
9. Акинин Н. И. Оценка экотоксичности продуктов взрыва промышленных взрывчатых веществ / Н. И. Акинин, А. С. Гармашов, Д. И. Михеев // Безопасность труда в промышленности. - 2021. - № 2. - С. 36-40.
10. Малеев А.И. Использование меламина в качестве флегматизатора промышленных составов / А.И. Малеев, В.П. Конышев // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. – 2018. – № 1. – С. 297-299.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dubnov L. V. Promyshlennye vzryvchatye veshhestva [Industrial Explosives]. / L. V. Dubnov, N. S. Baharevich, A. I. Romanov - M.: Nedra, 1988, p. 358 [in Russian]
2. Grinov S. A. Vysokokcentrirovannye suspenzii nanochastich ammiachnoj selitry - osnova jemul'sionnyh vzryvchatyh veshhestv [Highly Concentrated Suspensions of Ammonium Nitrate Nanoparticles - The Basis of Emulsion Explosives] [Text] / S. A. Grinov, I.Yu. Maslov, E.P. Robina // Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Occupational Safety in Industry]. - 2013. - № 10. - pp. 44-47. [in Russian]
3. Viktorov S. D. Vzryvchatye veshhestva bez vzryvchatyh komponentov - osnova progressa v gornom dele [Explosives Without Explosive Components - The Basis of Progress in Mining] / S. D. Viktorov, B. N. Kutuzov, V. M. Zakalinskij // Gornyj zhurnal [Mining Journal]. - 2008. - № 12. - pp. 47-50. [in Russian]
4. Amir Zh. A. Ispytaniya obrazcov jemul'sionnogo vzryvchatogo veshhestva Senatel Magnum do i posle vvedeniya markirujushhej kompozicii na vzryvchatye svojstva i kriterii bezopasnosti [Tests of Samples of Senatel Magnum Emulsion Explosive Before and After the Introduction of a Marking Composition for Explosive Properties and Safety Criteria] / Zh. A. Amir, D. A. Bajsejtov, S. E. Gizatova et al. // Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Occupational Safety in Industry]. - 2021. - № 6. - pp. 75-81. [in Russian]
5. Goncharuk V. V. Reologicheskie svojstva i vodouderzhivajushhaja sposobnost' gidrogelej agar-agara s karboksimetilcellulozoy [Rheological Properties and Water-Holding Capacity of Agar-Agar Hydrogels With Carboxymethyl Cellulose] / V. V. Goncharuk, L. V. Dubrovina // Zhurnal prikladnoj himii [Journal of Applied Chemistry]. - 2020. - Vol. 93, Issue 7. - pp. 980-987. [in Russian]

6. Fedorova V. V. Vlijanie plastificirujushhih dobavok na prochnostnye harakteristiki formovochnogo gipsa [The Influence of Plasticizing Additives on the Strength Characteristics of Molding Gypsum] / V. V. Fedorova, L. I. Sycheva, D. V. Haritonov et al. // *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics]. - 2020. - № 5. - pp. 47-50. [in Russian]
7. Maleev A.I. Poisk sshivajushhih agentov dlja guargama i izuchenie ih svojstv [Search for Crosslinking Agents for Guargamum and Study of Their Properties] / A.I. Maleev, V.P. Konyshov, M.S. Tovbis // *Sbornik Vserossijskoj konferencii «Lesnoj i himicheskij kompleksy – problemy i reshenija»* [Collection of the All-Russian Conference “Forest and Chemical Complexes - Problems and Solutions”]. – 2019. – Vol. 1. – pp. 356-357. [in Russian]
8. Kirjuhin D. P. Novye gidrofobnye materialy na osnove radiacionno-sintezirovannyh telomerov tetrafluorjetilena i melaminovoj gubki [New Hydrophobic Materials Based on Radiation-Synthesized Telomeres of Tetrafluoroethylene and Melamine Sponge] / D. P. Kirjuhin, G. A. Kichigina, P. P. Kushh et al. // *Rossijskij Himicheskij Zhurnal (ZhRHO im. D. I. Mendeleeva)* [Russian Chemical Journal]. - 2021. - Vol. 65, № 3. - pp. 42-50. [in Russian]
9. Akinin N. I. Ocenka jekotoksichnosti produktov vzryva promyshlennyh vzryvchatyh veshhestv [Assessment of Ecotoxicity of Explosion Products of Industrial Explosives] / N. I. Akinin, A. S. Garmashov, D. I. Miheev. // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Occupational Safety in Industry]. - 2021. - № 2. - pp. 36-40. [in Russian]
10. Maleev A.I. Ispol'zovanie melamina v kachestve flegmatizatora promyshlennyh sostavov [The Use of Melamine as a Phlegmatizer of Industrial Compounds] / A.I. Maleev, V.P. Konyshov // *Molodye uchenye v reshenii aktual'nyh problem nauki* [Young Scientists in Solving Actual Problems of Science]. – 2018. – № 1. – pp. 297-299. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.033>

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВЫСОКОСМОЛИСТОЙ НЕФТИ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ

Научная статья

Морозова А.В.^{1,*}, Волкова Г.И.²

¹ ORCID: 0000-0001-6381-9468;

² ORCID: 0000-0003-3986-8555;

^{1,2} Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия

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

Аннотация

Научная работа посвящена исследованию влияния добавки высокосмолистой нефти (3-50 % мас.) на структурно-механические параметры нефти с высоким содержанием парафина. Степень воздействия определяется концентрацией высокосмолистой нефти в смеси. Введение 5-10 % мас. высокосмолистой нефти в высокопарафинистую способствуют снижению вязкостно-температурных характеристик, энергии активации вязкого течения, удельной энергии разрушения дисперсной системы, количества парафиновых отложений, изменению формы и структуры парафиновых кристаллов. Существенное ингибирование процесса осадкообразования и улучшение вязкостно-температурных свойств наблюдается после внесения 10 % мас. высокосмолистой нефти в высокопарафинистую.

Ключевые слова: высокосмолистая нефть, высокопарафинистая нефть, смесь, вязкость, температура застывания.

THE EFFECT OF THE ADDITION OF HIGH-RESIN OIL ON THE PROPERTIES OF HIGH-PARAFFIN OIL

Research article

Morozova A.V.^{1,*}, Volkova G.I.²

¹ ORCID: 0000-0001-6381-9468;

² ORCID: 0000-0003-3986-8555;

^{1,2} Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Division of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

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

Abstract

The current study discusses the effect of the additive of high-resinous oil (3-50% by weight). the structural and mechanical parameters of oil with a high content of paraffin. The degree of exposure is determined by the concentration of highly resinous oil in the mixture. Introduction of 5-10% high-resinous oil into high-paraffin oil by weight contributes to a decrease in viscosity-temperature characteristics, the activation energy of the viscous flow, the specific energy of destruction of the dispersed system, the amount of paraffin deposits, changes in the shape and structure of paraffin crystals. Significant inhibition of the sedimentation process and improvement of viscosity-temperature properties is observed after the introduction of 10% high-resinous oil into high-paraffin oil by weight.

Keywords: highly resinous oil, high-paraffin oil, mixture, viscosity, freezing point.

Введение

Исчерпание запасов легкой нефти и ввод в эксплуатацию месторождений проблемных нефтей, обладающих высокой плотностью и высокой температурой застывания, актуализирует вопрос о разработке новых подходов при их транспортировке. Особенно проблематична транспортировка высокопарафинистой нефти, поскольку нефть с высоким содержанием парафиновых углеводородов застывает при слабо отрицательных или даже положительных температурах. Отложение парафина на стенках трубопровода уменьшает его сечение, создаёт дополнительное сопротивление и увеличивает энергозатраты на прокачку нефти. Разработка физических и химических способов воздействия на нефтяные дисперсные системы позволит решить имеющиеся проблемы трубопроводного транспорта без существенных затрат и в краткосрочной перспективе [1], [5], [8].

Смешение нефтей различного компонентного состава – один из способов улучшения низкотемпературных свойств высокопарафинистых нефтей [9], [10], [11]. Однако многокомпонентность состава углеводородного сырья обуславливает широкий диапазон возможных ассоциативных комбинаций молекул, с чем связана основная проблема смешения – нелинейный и неаддитивный характер изменения свойств смеси. В научной литературе приводится большое количество эмпирических формул [12], [13], которые описывают изменение вязкости при смешении нефтей. Однако часто расчётные значения вязкости смеси имеют существенное отклонение от экспериментальных данных.

Представляет интерес исследование структурно-механических свойств смесей высокопарафинистых нефтей с высокосмолистыми, так как нефтяные смолы являются природными депрессорами вязкости, температуры застывания и ингибиторами образования осадка.

Методы и принципы исследования

В качестве объектов исследования использовали высокопарафинистую (ВПН) и высокосмолистую (ВСН) нефти, групповой состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика исследуемых нефтей

Нефть	μ , мПа·с*	Тз, °С	Содержание, % мас.		
			Масла (в том числе парафины)	Смолы	Асфальтены
ВПН	20	+1	98,6 (6,9)	1,4	отс.
ВСН	12500	-18	59,0 (1,1)	31,1	9,9

Примечание: * - вязкость при скорости сдвига 1 с^{-1} , температуре 20 °С

Реологические параметры исследовали с помощью ротационного вискозиметра Brookfield DV-III Ultra (точность измерения 1 %).

Температуру застывания (Тз) нефти определяли на приборе ИНПН «Кристалл» марки SX-800 (Россия, погрешность прибора $\pm 1 \text{ °С}$).

Процесс осадкообразования исследовали с использованием установки, работающей по принципу «холодного стержня» при следующих условиях: температура стержня – плюс 5 °С , температура образца – плюс 30 °С , время эксперимента – 1 ч, навеска образца – 40 г. Количество осадка, образовавшегося на стержне, определяли гравиметрически, и полученные значения пересчитывали на 100 г нефти.

Исследование микроструктуры осадков, выделенных из нефтей, проводили с использованием метода оптической микроскопии в проходящем свете на микроскопе AXIO LAB.A1 Carl Zeiss.

Обсуждение результатов

Вязкость – одна из важнейших характеристик нефти и нефтепродуктов и не является аддитивной величиной, даже в случае идеальных растворов. Для расчёта вязкости двух нефтей используется ряд уравнений [13]. В данной работе использовано эмпирическое уравнение, предложенное Аррениусом, который считал аддитивными логарифмы вязкости жидкостей, образующих смесь ($lg\mu_{см}$):

$$lg\mu_{см} = \chi_1 lg\mu_1 + \chi_2 lg\mu_2,$$

где χ_1 – массовая доля компонента смеси, μ_1 – вязкость компонента смеси.

Согласно полученным результатам, добавка 3 % мас. ВСН приводит к увеличению динамической вязкости в 1,5-2 раза в диапазоне скоростей от 3 до 85 с^{-1} (см. рисунок 1). При такой концентрации ВСН общая вязкость смеси повышается за счет очень высокой вязкости ВСН (см. таблицу 1), а депрессорные свойства нефтяных смол не проявляются из-за их низкой концентрации в таком количестве ВСН. Увеличение концентрации ВСН (5-15 % мас.) в смеси способствует снижению вязкости ВПН: при скорости сдвига 1 с^{-1} вязкость снижается в 3-4 раза, а при 10 с^{-1} – в 1,7-2 раза.

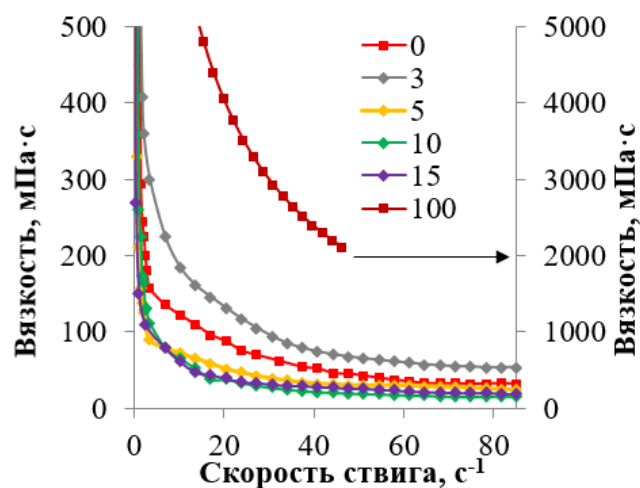


Рис. 1 – Зависимость динамической вязкости ВПН от концентрации добавленной ВСН при температуре 10 °С

Расчеты вязкости смесей, проведенные по уравнению Аррениуса ($\eta_{Ар}$), показали, что при добавке 1 % мас. ВСН вязкость $\eta_{Ар}$ оказывается ниже реальных значений вязкости (η_p) в 3.2 и 6.8 раза при 20 °С и 15 °С соответственно (см. таблицу 2). При внесении 3-5 % мас. ВСН значения $\eta_{Ар}$, напротив, выше η_p в 2-33 раза (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Влияние концентрации ВСН на эффективную вязкость ВПН

Содержание ВСН, % мас.	Эффективная вязкость, мПа·с*			
	Температура, °С			
	20		15	
	$\mu_{Ар}$	μ_p	$\mu_{Ар}$	μ_p
0	-	20	-	120
1	25	80	25	170
3	40	20	40	20

Окончание таблицы 2 – Влияние концентрации ВСН на эффективную вязкость ВПН

Содержание ВСН, % мас.	Эффективная вязкость, мПа·с*			
	Температура, °С			
	20		15	
	μ_{Ap}	μ_p	μ_{Ap}	μ_p
5	50	20	60	30
10	110	30	130	35
15	190	60	240	70
50	2170	70	2985	90
100	-	12500	-	**

Примечание: * - эффективная вязкость при скорости сдвига $\gamma=1 \text{ с}^{-1}$, ** - нефть не течет

При охлаждении углеводородного сырья с высоким содержанием парафинов наблюдаются структурные преобразования, которые можно проследить по зависимостям вязкости от температуры (см. рисунок 2). Вязкостно-температурная кривая для ВПН представлена несколькими участками. При снижении температуры до 12 °С вязкость ВПН медленно повышается, что связано с зарождением частиц парафинов в исходной дисперсионной среде (T_1). При дальнейшем охлаждении нефти наблюдается резкое увеличение вязкости, обусловленное агрегацией первичных кристаллов (T_2). При температуре около минус 5 °С наблюдается золь-гель переход (T_3) и нефть не течет. Температуры золь-гель перехода образцов, содержащих 1-3 % мас. ВСН, смещаются в область более высоких температур. При введении большего количества ВСН вязкость и температура золь-гель перехода снижаются, проходя через минимум при введении 10 % мас. ВСН.

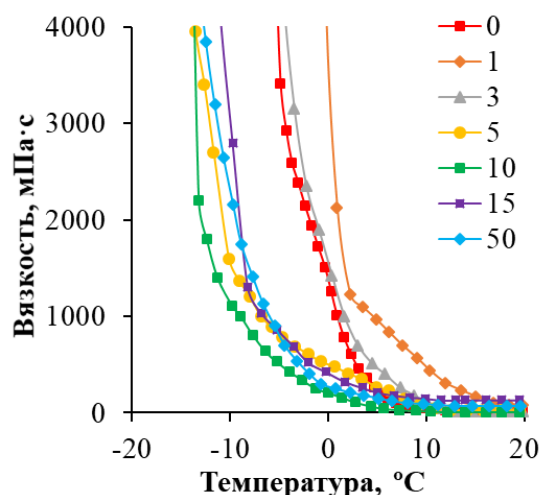


Рис. 2 – Вязкостно-температурные кривые течения смесей нефтей в зависимости от концентрации ВСН

С увеличением содержания ВСН в ВПН снижается температура застывания (см. таблицу 3). Наиболее резкое снижение T_3 (13,4 °С) происходит при добавлении 10 % мас. ВСН. При высоких концентрациях ВСН (50 % мас.), значение температуры застывания близко к значениям T_3 добавляемой ВСН.

Вязкостно-температурные зависимости использовали для расчета энергии активации вязкого течения (E_a). Из таблицы 3 видно, что при добавлении 1 % мас. ВСН E_a смеси резко возрастает, затем снижается (3-50 % мас. ВСН), достигая минимума в присутствии 10 % мас. ВСН. В точке минимума E_a смеси ниже исходной энергии в 1,6 раз.

Таблица 3 – Температурные характеристики и энергетические параметры смесей ВПН и ВСН

Количество ВСН, % мас.	Температура, °С				E_a , Дж/моль*	ΔW , кДж/м ³
	T_1	T_2	T_3	T_3		
0	12,0	5,0	-5,0	0,4	153	122
1	20,0	16,0	2,5	0	349	-
3	12,5	8,8	-4,6	-1	148	144
5	12,5	9,3	-13,2	-3	103	98
10	10,4	4,3	-14,2	-13	94	84
15	9,8	6,5	-11,3	-14	123	114
50	11,2	8,1	-17,0	-17	140	-
100	19,0	9,0	3,0	-18	87	-

Примечание: * – E_a в интервале температур минус 7-плюс 11 °С

Прочность структур, формирующихся в смесях ВПН и ВСН различного состава, оценивали значениями удельной энергии разрушения надмолекулярных структур (ΔW). Значения ΔW рассчитывали по площади петель гистерезиса, образованных изотермическими кривыми течения прямого и обратного хода при температуре, близкой к температуре спонтанной кристаллизации (см. рисунок 3, таблицу 3). Значения ΔW смесей ВПН и ВСН изменяется экстремально, проходя через минимум при концентрации ВСН 10 % мас.

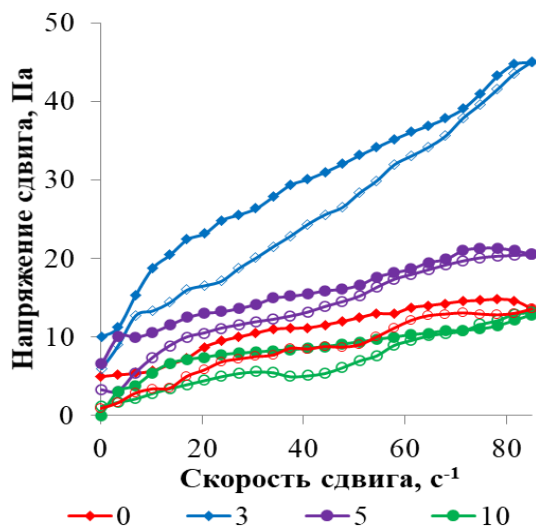


Рис. 3 – Кривые течения прямого (маркер с заливкой) и обратного (маркер без заливки) хода смесей ВПН с ВСН (% мас.) при температуре 15 °C

Наряду с отмеченными положительными изменениями вязкостно-температурных и энергетических параметров смесей повышается и седиментационная устойчивость ВПН при добавлении ВСН. Количество осадков, выделившихся на «холодном стержне» при температуре стержня 5 °C, постепенно снижается при увеличении концентрации ВСН (см. рисунок 4).

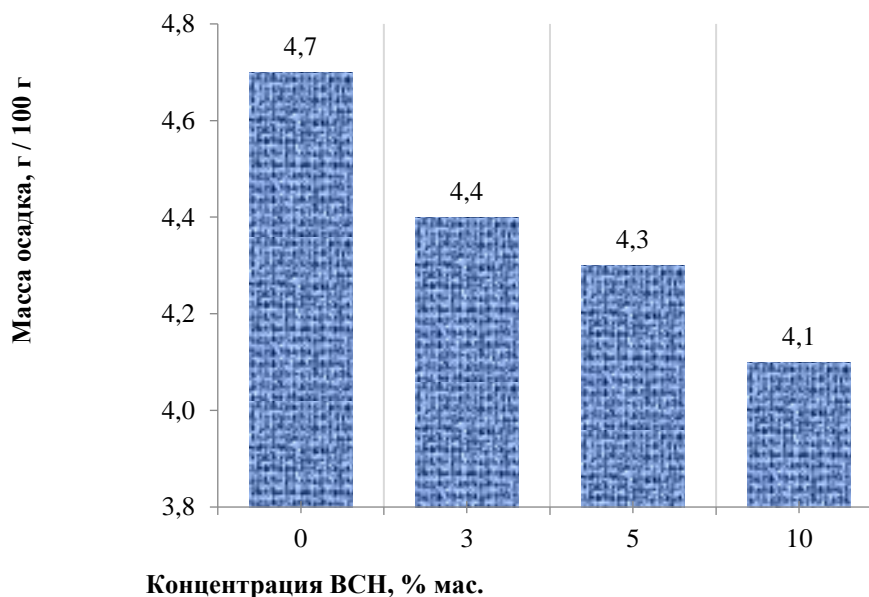


Рис. 4 – Влияние концентрации ВСН (% мас.) в смеси на массу осадка

Исследована микроструктура осадков ВПН и ее смесей с ВСН. Осадок исходной ВПН представлен фибриллярными образованиями длиной 6–60 мкм (см. рисунок 5а). После введения 3 % мас. ВСН в структуре осадка все еще преобладают игольчатые кристаллы (см. рисунок 5б).

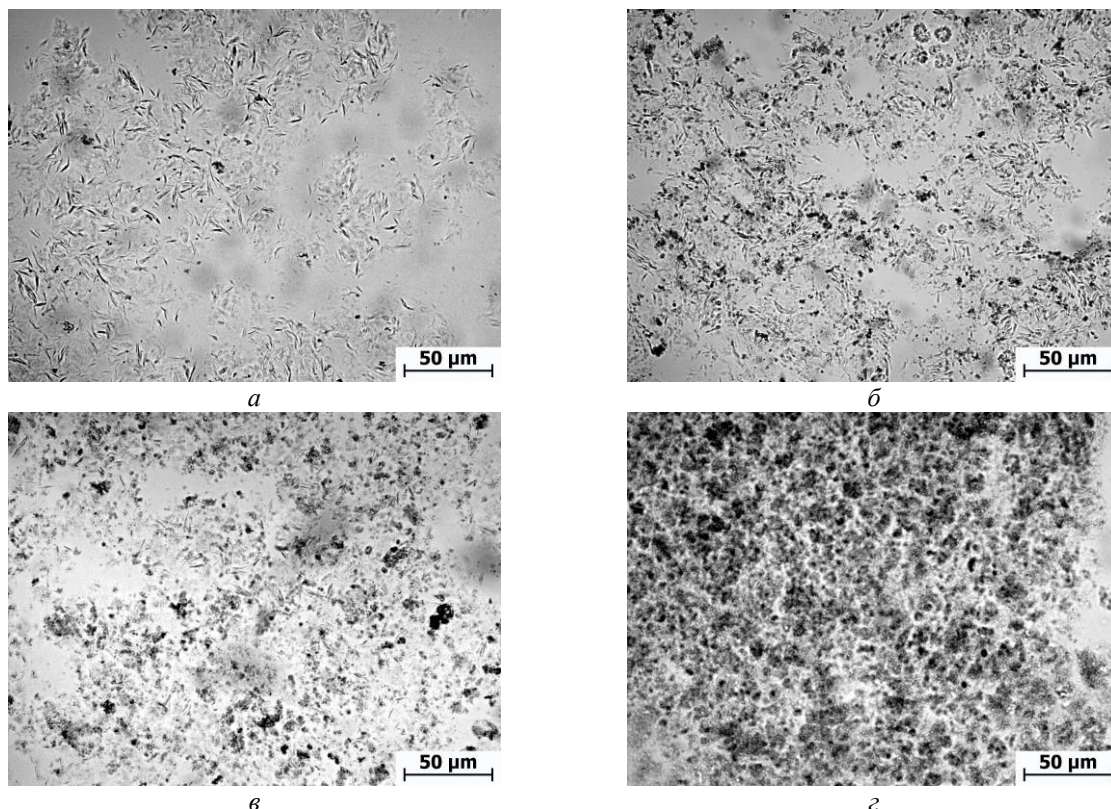


Рис. 5 – Микрофотографии осадков ВПН с добавкой ВСН, % мас.:
а – 0; б – 3; в – 5; з – 10

Добавление 5 % мас. ВСН изменяет микроструктуру кристаллизующейся исходной ВПН: нарушается упорядоченная кристаллическая сетка, однако в осадке еще присутствуют игольчатые кристаллы (рисунок 5в). После внесения 10 % мас. ВСН структура осадка становится аморфной, игольчатые кристаллы отсутствуют (см. рисунок 5г). □ Подобные осадки имеют меньшую плотность, большую поверхность и легче уносятся потоком нефти.

Заключение

Таким образом, выявлено, что смешение ВСН с ВПН способствует изменению структурно-реологических и энергетических параметров транспортируемой нефти с высоким содержанием парафиновых углеводородов. Депрессорный и ингибирующий эффект ВСН, введенной в ВПН, зависит от концентрации добавки: малые (1-3 % мас.) и большие (50 % мас.) количества увеличивают вязкость ВПН, но снижают температуры фазовых переходов и температуру застывания. После добавки 5-10 % мас. ВСН к ВПН вязкость смеси уменьшается на 70-75 % (при температуре 15 °С), температура застывания – на 14 °С по сравнению с исходной ВПН. В присутствии ВСН снижается количество и изменяется структура осадков, выделенных из смесей.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90030. Оптическая микроскопия выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Funding

The reported study was funded by RFBR, project number 19-33-90030. Optical microscopy was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Loskutova Y. V. Improving the structural-rheological properties of high-paraffin crude oil using chemical reagents and vibrational treatment / Y. V. Loskutova, I. V. Prozorova, N. V. Yudina // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2011. – V. 71. – № 1. – P. 358–361. DOI:10.1007/s10553-011-0308-x.
2. Musina N. S. Application of Magnetic Treatment to Changing the Composition and Physicochemical Properties of Crude Oil and Petroleum Products / N. S. Musina, T. A. Maryutina // Journal of Analytical Chemistry. – 2016. – V. 71 – №. 1. – P. 27–34. DOI:10.1134/S1061934816010081.
3. Лоскутова Ю. В. Результаты обработки высокосмолистых нефтей переменным ассиметричным током / Ю. В. Лоскутова, А. М. Ивлева, Н. В. Юдина и др. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2012. – № 4. – С. 103–107.
4. Abramov V. O. Sonochemical approaches to enhanced oil recovery / V. O. Abramov, A. V. Abramova, V. M. Bayazitov et al. // Ultrasonics Sonochemistry. – 2015. – V. 25. – P. 76–81. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.014.

5. Mullakaev M. S. Ultrasonic piezoceramic module and technology for stimulating low-productivity wells / M. S. Mullakaev, V. O. Abramov, A.V. Abramova // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2017. – V. 158. – P. 529–534. DOI:10.1016/j.petrol.2017.08.067.
6. Anufriev R. V. Structural and mechanical properties of highly paraffinic crude oil processed in high-frequency acoustic field / R. V. Anufriev, G. I.Volkova // *Key Engineering Materials*. – 2016. – V. 670. – P. 55–61. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.670.55.
7. Xu, Y. Heavy oil viscosity reduction at mild temperatures using palladium acetylacetonate / Y. Xu, K. N. Heck, C. Ayala-Orozco et al. // *Fuel*. – 2021. – V. 294. – 120546. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.120546.
8. Ren, Y. Synthesis and mechanism analysis of a new oil soluble viscosity reducer for flow improvement of Chenping heavy oil / Y. Ren, S. Xia // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2021. DOI: 10.1016/j.cjche.2021.04.029.
9. Евдокимов И. Н. Долгоживущие в метастабильных состояниях коллоидные структуры нефтяных остатков / И. Н. Евдокимов, Н. Ю. Елисеев // *Химия и технология топлив и масел*. – 2005. – № 2. – С. 45–47.
10. Rzaev Y. R. Control of aggregative stability of the oils during their mixing / Y. R. Rzaev, E. H. Ismailov // *IFAC-Papersonline* / 2018. – V. 51. № 30. P. 565–570.
11. Чернышева Е. А. Повышение эффективности процесса перегонки нефти на НПЗ путем предварительного оптимального смешения сырья (обзор) / Е. А. Чернышева, И. В. Пискунов, В. М. Капустин // *Нефтехимия*. – 2020. – Т. 60. – № 1. – С. 3–19. DOI: 10.31857/S0028242120010050.
12. Кувыкин В. И. Вязкость смеси углеводородов / В. И. Кувыкин, Е. В. Кувыкина // *Естественные и математические науки в современном мире*. – 2019. – Т. 39. № 1. – С. 46–51.
13. Аралов О. В. Исследование методов расчета кинематической вязкости нефти в магистральном нефтепроводе / О. В. Аралов, И. В. Буянов, А. С. Саванин и др. // *Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов*. – 2017. – Т. 7. – № 5. – С. 97–105.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Loskutova Y. V. Improving the structural-rheological properties of high-paraffin crude oil using chemical reagents and vibrational treatment / Y. V. Loskutova, I. V. Prozorova, N. V. Yudina // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. – 2011. – V. 71. – № 1. – P. 358–361. DOI: 10.1007/s10553-011-0308-x.
2. Musina N. S. Application of Magnetic Treatment to Changing the Composition and Physicochemical Properties of Crude Oil and Petroleum Products / N. S. Musina, T. A. Maryutina // *Journal of Analytical Chemistry*. – 2016. – V. 71 – №. 1. – P. 27–34. DOI:10.1134/S1061934816010081.
3. Loskutova Ju. V. Rezul'taty obrabotki vysokosmolistyh neftej peremennym assimetrichnym tokom [Results of high-resinous oils processing by asymmetric alternating current] / Ju. V. Loskutova, A. M. Ivleva, N. V. Yudina et al. // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft' i gaz* [Proceedings of higher educational institutions. Oil and gas]. – 2012. – № 4. – P. 103–107. [in Russian]
4. Abramov V. O. Sonochemical approaches to enhanced oil recovery / V. O. Abramov, A. V. Abramova, V. M. Bayazitov, et al. // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2015. – V. 25. – P. 76–81. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.014.
5. Mullakaev M. S. Ultrasonic piezoceramic module and technology for stimulating low-productivity wells / M. S. Mullakaev, V. O. Abramov, A.V. Abramova // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2017. – V. 158. – P. 529–534. DOI:10.1016/j.petrol.2017.08.067.
6. Anufriev R. V. Structural and mechanical properties of highly paraffinic crude oil processed in high-frequency acoustic field / R. V. Anufriev, G. I.Volkova // *Key Engineering Materials*. – 2016. – V. 670. – P. 55–61. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.670.55.
7. Xu, Y. Heavy oil viscosity reduction at mild temperatures using palladium acetylacetonate / Y. Xu, K. N. Heck, C. Ayala-Orozco et al. // *Fuel*. – 2021. – V. 294. – 120546. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.120546
8. Ren, Y. Synthesis and mechanism analysis of a new oil soluble viscosity reducer for flow improvement of Chenping heavy oil / Y. Ren, S. Xia // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2021. DOI: 10.1016/j.cjche.2021.04.029.
9. Evdokimov I. N. Dolgozhivushhie v metastabil'nyh sostojanijah kolloidnye struktury neftnykh ostatkov [Colloidal structures of petroleum residues long-lived in metastable states] / I. N. Evdokimov, N. Ju. Eliseev // *Himija i tehnologija topliv i masel* [Chemistry and Technology of Fuels and Oils]. – 2005. – № 2. – P. 45–47. [in Russian]
10. Rzaev Y. R. Control of aggregative stability of the oils during their mixing / Y. R. Rzaev, E. H. Ismailov // *IFAC-Papersonline* / 2018. – V. 51. № 30. P. 565–570.
11. Chernysheva E. A. Povyszenie jeffektivnosti processa peregonki nefti na NPZ putem predvaritel'nogo optimal'nogo smeshenija syr'ja (obzor) [Enhancing the efficiency of refinery crude oil distillation process by optimized preliminary feedstock blending (review)] / E. A. Chernysheva, I. V. Piskunov, V. M. Kapustin // *Neftehimija* [Petroleum Chemistry]. – 2020. – V. 60. – № 1. – P. 3–19. DOI: 10.31857/S0028242120010050. [in Russian]
12. Kuvykin V. I. Vjazkost' smesi uglevodorodov [The viscosity of the hydrocarbons mixture] / V. I. Kuvykin, E. V. Kuvykina // *Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire* [Natural and mathematical sciences in the modern world]. – 2019. – V. 39. – № 1. – P. 46–51. [in Russian]
13. Aralov O. V. Issledovanie metodov rascheta kinematicheskoy vjazkosti nefti v magistral'nom nefteprovoде [Research of methods for oil kinematic viscosity calculation in the oil-trunk pipeline] / O. V. Aralov, I. V. Bujanov, A. S. Savanin et al. // *Nauka i tehnologija truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov*. – 2017. – V. 7. – № 5. – P. 97–105. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.034>

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ
В СТРУКТУРЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ СИСТЕМ**

Научная статья

Астанин Д.М.*

ORCID: 0000-0002-1062-3098,

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия;
Вологодский государственный университет, Вологда, Россия

* Корреспондирующий автор (montenegro.astanin[at]mail.ru)

Аннотация

Туристический поток и антропогенное вмешательство фрагментируют природный ландшафт и сокращают биоразнообразие. Совмещение в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) функций охраны природы и развития туризма дало импульс развитию методов не нормативного, а пространственного регулирования рекреационных нагрузок. Переориентация туризма на устойчивое развитие, необходимость в результате этого предвидеть все возможные отрицательные последствия его развития и, предусмотреть меры для их преодоления, требует использования методов стратегического планирования и моделирования. Для достижения целей устойчивого развития туризм рассматривается как целостная система. Основным подходом в этом случае является системный подход.

Ключевые слова: устойчивость к рекреационным нагрузкам, туристический поток, рекреационная емкость, рекреационная дигрессия, теория островной биогеографии, концепция поляризованного ландшафта, концепция устойчивого развития, системный подход.

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF RECREATIONAL IMPACT MANAGEMENT IN THE STRUCTURE
OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MULTIFACTOR SYSTEMS**

Research article

Astanin D.M.*

ORCID: 0000-0002-1062-3098,

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;
Vologda State University, Vologda, Russia

* Corresponding author (montenegro.astanin[at]mail.ru)

Abstract

Tourist flow and anthropogenic interference fragment the natural landscape and reduce biodiversity. Combining the functions of nature protection and tourism development within natural reserves gave an impetus to the development of methods of spatial regulation of recreational loads as opposed to the normative one. The reorientation of tourism towards sustainable development as well as the need to anticipate all possible negative consequences of its development and to provide measures to overcome them requires the use of strategic planning and modeling methods. In order to achieve the goals of sustainable development, tourism is considered an integral system, while the main approach in this case is systematic.

Keywords: resistance to recreational loads, tourist flow, recreational capacity, recreational digression, theory of island biogeography, concept of polarized landscape, concept of sustainable development, systematic approach.

Введение

Происходящие на туристских территориях негативные изменения ландшафта потребовали тщательного анализа возникающих экологических и социально-экономических проблем и, поиска подходов к управлению рекреационным воздействием.

В России научные исследования в области управления рекреационным воздействием начинаются в 1960-х гг. В этот период выявляются проблемы пространственного развития туризма, формируется понятийный аппарат и определяются направления исследований.

К середине 1970-х гг. основным направлением исследований стало определение устойчивости природных комплексов к рекреационным нагрузкам, выявление стадий рекреационной дигрессии (Е. Г. Шеффер, Н. С. Казанская, В. П. Чижова, Н. М. Забелина) [1], [2].

Обсуждение

В рамках направления определения устойчивости природных комплексов:

- выявлено, что рост туристических потоков требует поиска новых территориальных форм организации туризма, способствующих охране природы;
- определено понятие рекреационной емкости территории, которая зависит от устойчивости природного комплекса к рекреационным нагрузкам и психофизиологической комфортности для посетителей (численность туристской группы);
- изучена зависимость допустимых рекреационных нагрузок от типологии природных комплексов;
- определены стадии рекреационной дигрессии;
- исследованы вопросы планирования и проектирования природных территорий на основе функционально-рекреационного зонирования.

В результате исследований были разработаны нормативы рекреационных нагрузок для различных природных комплексов и на этой основе создана «Временная методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок» [3] (1987), которая становится базовой при разработке территориальных рекреационных планировок и схем.

Создание первых национальных парков приводит к появлению исследований в области развития туризма на ООПТ.

Методы и принципы исследования

Совмещение в пределах ООПТ функций охраны природы и развития туризма дало импульс развитию методов не нормативного, а пространственного регулирования рекреационных нагрузок:

1. зонирование ООПТ, с выделением зон охраны и туризма;
2. проектирование экологических троп - линейной формы организации туристических потоков.

В основе исследований, направленных на пространственное управление рекреационным воздействием, леги теории островной биогеографии и концепция Б. Б. Родомана о поляризованном ландшафте.

Теория островной биогеографии изучает биологическое разнообразие изолированных природных сообществ (Р. Макартур, Э. О. Уилсон) [6], [7], [8]. Островные биоценозы по видовой, пространственной и функциональной структурам значительно проще, чем материковые, следовательно - очень неустойчивы. Экологические коридоры, связывающие их острова способствуют сохранению биологического разнообразия и устойчивости природных сообществ.

Экологи применили положения теории островной биогеографии для заповедников и национальных парков, которые являются «островами» внутри антропогенных ландшафтов. Туристический поток и антропогенное вмешательство фрагментируют природный ландшафт и сокращают биоразнообразие. Только сохранение экологических коридоров способствует устойчивости природных экосистем.

Концепция поляризованного ландшафта Б. Б. Родомана предполагает максимальное разведение природоохранных и селитебных территорий. Природоохранные территории связаны между собой в единое целое сетью зеленых коридоров. Селитебные территории соединены транспортной системой. В идеале транспортная система и система зеленых коридоров должны пересекаться в разных уровнях (эко-мосты и подземные переходы для животных). Буферной зоной между полярными территориями является территория отдыха и туризма.

Для 1990-х гг. характерны социализация и экологизация исследований в области управления рекреационным воздействием. Экологические разработки связаны с оптимизацией рекреационного природопользования в пределах ООПТ. В связи со сложностью и разнообразием экосистем и их реакций на рекреационное воздействие, зарубежными экологами предложена методология управления рекреационным воздействием в пределах ООПТ, с помощью которой осуществлен переход от нормирования рекреационных нагрузок к определению пределов допустимых изменений природных комплексов, преодоление которых требует принятия разработанных мер восстановления природных комплексов (Д. Станкей, Д. Коул, Р. Лукас, М. Петерсен, С. Фриссел) [4].

Социологизация исследований связана с появлением социального направления в управлении рекреационными воздействиями. Была отмечена важность соучастия местного населения в развитии туризма и сохранении традиционного культурного ландшафта, так же как и предпочтительность согласования пространственных интересов местного населения и посетителей (Мироненко Н. С.).

Развитие теории культурного ландшафта привело к переосмыслению развития туризма, сохранения окружающей среды и восприятия ландшафта человеком. Поэтому, большее внимание стало уделяться изучению информационного поля ландшафта - созданию привлекательного образа территории (Веденин Ю. А.) [5].

С середины 2000-х гг. исследования в области управления рекреационным воздействием коррелируются с концепцией устойчивого развития.

В итоге в 1996-м. г. ВТО, Всемирным советом по путешествиям и туризму (WTTC), организацией «Зеленый мир» разработана концепция устойчивого развития туризма в 21-м веке: «Agenda 21 for travel and tourism industry», где была предложена программа действий для государственных организаций и туристических компаний. Для обеспечения экологической устойчивости было предложено:

1. внедрение ресурсосберегающих технологий, экологизация хозяйственной деятельности предприятий туристической индустрии [6], [7], [8];
2. создание условий для перераспределения потоков отдыхающих по территории дестинации, с учетом допустимых рекреационных нагрузок и устойчивости природных комплексов к антропогенному воздействию;
3. организацию системы экологического образования и воспитания широких слоев населения в целях повышения культуры природопользования, сохранения и восстановления уникальных природных комплексов [9], [10];

При этом отмечалось, что для устойчивого развития туризма на территориях необходимо осуществлять постоянный мониторинг окружающей среды и разработать меры, предупреждающие возникновение негативных последствий от рекреационного воздействия.

В основе концепции устойчивого развития лежит мировоззренческий образ будущего - гармоничное сосуществование человека и природы, идея экологоориентированного поведения людей для сохранения природного и культурного наследия для будущих поколений [9], [10].

Переориентация туризма на устойчивое развитие, необходимость в прогнозировании всех возможных отрицательных последствий его развития и предвидении мер их преодоления, требует использования для управления туризмом методов стратегического планирования и моделирования. Для достижения целей устойчивого развития туризм рассматривается как целостная система. Основным подходом в этом случае является системный подход. Системный подход позволяет рассмотреть туризм как сложную систему, функционирование которой осуществляется на основе принятой концепции развития. Системный подход позволяет расчленить систему на составные элементы, выявить свойства, связи, взаимозависимости, определить функции, которые должны быть

реализованы и гармонизированы, сформулировать цели развития системы, сформировать основы коммуникационного взаимодействия всех элементов системы [9], [10].

Заключение

Сложность туристской системы приводит к необходимости изучения разнородных объектов и факторов, характеризующих их, неочевидных и разнонаправленных взаимосвязей между ними, поэтому предполагает использование междисциплинарного подхода.

Концептуальный образ предполагает, что комплексное воздействие от рекреации не должно приводить к необратимым последствиям для культурных и природных ландшафтов. Для этого необходимо применять весь инструментарий разработанных мер управления рекреационным воздействием:

- нормирование рекреационных нагрузок;
- пространственное регулирование рекреационного воздействия, с помощью функционального зонирования туристической территории и проектирования экологических троп;
- моделирование возможных негативных последствий от рекреационных воздействий и мер для их преодоления;
- социальное проектирование для достижения ожидаемого (прогнозируемого) результата в социальной сфере и, прежде всего, в формировании экологического сознания как у туристов, так и у местного населения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шеффер Е.Г. Ландшафтные исследования для проектов территориальных планировок: (На примере лесопаркового пояса г. Ленинграда) / Е.Г. Шеффер // Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата географических наук. Ленингр. гос. ун-т им. А. А. Жданова. Геогр. фак. - Ленинград, 1971. - 25 с.
2. Чижова В.П. Рекреационные нагрузки в зонах отдыха / В.П. Чижова // М.: Изд-во МГУ, 1977. – 48 с.
3. Временная методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9033131> (дата обращения: 12.11.2021)
4. Stankey G.H. Recreational carrying capacity: an annotated bibliography / G.H. Stankey. University of Michigan Library. 1973. 56 p.
5. Веденин Ю.А. Динамика территориальных рекреационных систем / Ю.А. Веденин // М.: Наука, 1982. - 190 с.
6. Ceballos-Lascurain H. Guidelines: development of national parks and protected areas for tourism / H. Ceballos-Lascurain, J. A. McNeely, J. W. Thorsell. Monographic Series no.: 1992. – no. 013. ISBN: 964-6065-97-4
7. Ceballos-Lascurain, H. Tourism, ecotourism, and protected areas: the state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development / H. Ceballos-Lascurain // Conference: World Congress on National Parks and Protected Areas, 4th, Caracas, VE, 10-21 February 1992. 1996. – 301 p.
8. Farrell B.H. Ecology and tourism / B.H. Farrell, D. Runyan // Annals of Tourism Research, 1991. – Volume 18, Issue 1 – P. 26-40.
9. Астанин Д.М. Функциональное зонирование территорий экологического туризма по степени регулирования градостроительной деятельности / Д.М. Астанин // Архитектон: известия вузов. 2018. – №1(61). [Электронный ресурс] URL: http://archvuz.ru/2018_1/3 (дата обращения: 12.11.2021)
10. Астанин Д.М. Из потребления – в сохранение: взаимодействие и разновидности туристско-рекреационных концепций / Д.М. Астанин // Формирование концепций экологического туризма: исторический опыт и модули развития. Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. – Т. 5 (15).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sheffer E.G. Landshaftnye issledovaniya dlya projektov territorial'nyh planirovok: (Na primere lesoparkovogo poyasa g. Leningrada) / [Landscape studies for territorial planning projects: (On the example of the forest park belt of Leningrad)] / E.G. Sheffer // Avtoreferat dis. na soiskanie uchenoj stepeni kandidata geograficheskikh nauk. Leningr. gos. un-t im. A. A. Zhdanova. Geogr. fak. - Leningrad, 1971. - 25 p. [in Russian]
2. Chizhova V.P. Rekreatsionnye nagruzki v zonah otdyha [Recreational loads in recreation areas] / V.P. Chizhova. M.: Publishing house MGU, 1977. – 48 p. [in Russian]
3. Vremennaya metodika opredeleniya rekreatsionnyh nagruzok na prirodnye kompleksy pri organizatsii turizma, ekskursij, massovogo povsednevnogo otdyha i vremennye normy etih nagruzok [Temporary method of determining recreational loads on natural complexes in the organization of tourism, excursions, mass everyday recreation and temporary norms of these loads]. [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9033131> (accessed: 12.11.2021) [in Russian]
4. Stankey G.H. Recreational carrying capacity: an annotated bibliography / G.H. Stankey. University of Michigan Library. 1973. 56 p.
5. Vedenin Yu.A. Dinamika territorial'nyh rekreatsionnyh sistem [Dynamics of territorial recreational systems] / Yu.A. Vedenin. M.: Nauka, 1982. 190 p. [in Russian]
6. Ceballos-Lascurain H. Guidelines: development of national parks and protected areas for tourism / H. Ceballos-Lascurain, J. A. McNeely, J. W. Thorsell. Monographic Series no.: 1992. – no. 013. ISBN: 964-6065-97-4
7. Ceballos-Lascurain, H. Tourism, ecotourism, and protected areas: the state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development / H. Ceballos-Lascurain // Conference: World Congress on National Parks and Protected Areas, 4th, Caracas, VE, 10-21 February 1992. 1996. – 301 p.

8. Farrell B.H. Ecology and tourism / B.H. Farrell, D. Runyan // *Annals of Tourism Research*, 1991. – Volume 18, Issue 1 – P. 26-40.
9. Astanin D.M. Funkcional'noe zonirowanie territorij ekologicheskogo turizma po stepeni regulirovaniya gradostroitel'noj deyatel'nosti [Functional zoning of ecological tourism areas by degree of regulation of building and planning activities] / D.M. Astanin // *Arhitekton: izvestiya vuzov* [Architecton: Proceedings of Higher Education]. 2018. – №1 (61). [Electronic resource]. URL: http://archvuz.ru/2018_1/3 (accessed: 12.11.2021) [in Russian]
10. Astanin D.M. Iz potrebleniya – v sohranenie: vzaimodejstvie i raznovidnosti turistsko-rekreacionnyh koncepcij. Formirovanie koncepcij ekologicheskogo turizma: istoricheskij opyt i moduli razvitiya [From consumption to conservation: interaction and varieties of tourist and recreational concepts. The formation of the concepts of environment tourism: historical experience and development modules] / D.M. Astanin // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and ecogeodynamics of regions]. 2019. – Vol. 5 (15). № 1. P. 226-239. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.035>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕЛЯХ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

Вдовенко А.В.^{1,*}, Вдовенко В.А.², Егоров П.И.³, Трофимов И.Ю.⁴, Кудинов И.В.⁵, Кашина Ж.В.⁶

¹ ORCID: 0000-0002-9543-1369;

² ORCID: 0000-0001-6813-8928;

⁴ ORCID: 0000-0003-1327-4601;

¹⁻⁶ Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (avdovienko[at]list.ru)

Аннотация

Проблема информационного обеспечения Государственного мониторинга земель выдвигает в разряд наиболее актуальных задач совершенствование методов и технических средств наблюдения за состоянием и использованием земельных ресурсов. Выбор технологии мониторинга земель зависит от требований к точности получаемых данных, применяемого технического и программного обеспечения и других факторов. В статье на примере муниципальных образований Сахалинской области представлена практическая апробация использования беспилотного летательного аппарата при выполнении мониторинга стихийных свалок.

Ключевые слова: мониторинг земель, инновационные технологии, дистанционное зондирование, БПЛА.

ON THE USE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR LAND MONITORING PURPOSES

Research article

Vdovenko A.V.^{1,*}, Vdovenko V.A.², Egorov P.I.³, Trofimov I.Yu.⁴, Kudinov I.V.⁵, Kashina Zh.V.⁶

¹ ORCID: 0000-0002-9543-1369;

² ORCID: 0000-0001-6813-8928;

⁴ ORCID: 0000-0003-1327-4601;

¹⁻⁶ Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (avdovienko[at]list.ru)

Abstract

The problem of information support for state monitoring of land puts forward the improvement of methods and technical means of monitoring the state and use of land resources in the category of the most urgent tasks. The choice of land monitoring technology depends on the requirements for the accuracy of the data obtained, the technical and software used, and other factors. The article presents a practical testing of using of an unmanned aerial vehicle when monitoring natural landfills in the municipalities of Sakhalin Oblast.

Keywords: land monitoring, innovative technologies, remote sensing, UAV.

Введение

В современных условиях глобализации в Российской Федерации (РФ) стремительно развивается рынок земельных и имущественных отношений, который формирует пространство объектов недвижимости на территории субъектов РФ, а также в масштабах всей страны. При этом в большом информационном потоке происходит обработка значительного объема кадастровой, землеустроительной, иной информации и предпринимаются попытки ее интеграции и отображения в едином геопространстве территорий. В этих условиях большое значение имеет использование инновационных технологий при производстве указанных видов работ, которые позволяют оптимизировать и снизить их стоимость и трудозатраты.

Целью исследования является анализ, обоснование и практическая апробация преимуществ использования инновационных технологий (беспилотных летательных аппаратов) для целей мониторинга земель. Объектом исследования являются территории муниципальных образований Сахалинской области.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в развитие теории и практики, организации и планирования землеустройства, кадастровых работ, ведения Государственного мониторинга земель и управления земельными ресурсами внесли такие отечественные и зарубежные ученые, как: Г. Бортс, В.М. Баутин, Варламов А.А., Волков С.Н., Гальченко С.А., Мурашева А.А., Неумывакин Ю.К., Перский М. И., Сизов А. П., Карпик А. П., Москвин В. Н., Шаповалов Д.А., Larsson H., Mattsson H., Simpson R. и другие [1], [2], [3], [4].

Вместе с тем, многие вопросы информационного обеспечения мониторинга земель с использованием инновационных технологий, к которым, несомненно, относятся методы дистанционного зондирования земли, остаются не проработанными.

Методология и методы исследований. В процессе работы использованы общенаучные методы исследования, опирающиеся на системный подход, в рамках которого применялся разнообразный инструментарий для определения сущности анализируемых явлений, процессов и закономерностей, такой как картографический, абстрактно-логический, монографический, статистический.

При подготовке работы использованы материалы Министерства имущественных отношений Сахалинской области и Филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральная кадастровая палата Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии» по Сахалинской области, находящиеся в открытом доступе, а также справочная и нормативная литература, картографические материалы [5].

Постановка проблемы

Решение проблемы информационного обеспечения Государственного мониторинга земель выдвигает в разряд наиболее актуальных задач совершенствование методов и технических средств наблюдения за состоянием и использованием земельных ресурсов. Пространственные данные о земельных участках получают в рамках различных технологий, предусматривающих выполнение полевых и камеральных работ. Выбор технологии зависит от требований к точности получаемых данных, применяемого технического и программного обеспечения и других факторов. Пространственные данные могут быть получены с использованием геодезических, спутниковых, фотограмметрических и картометрических методов. Требования к полноте и достоверности сведений о природных объектах и процессах обычно столь же высоки, как стоимость и трудоемкость их выявления и сбора [6].

Наиболее распространенными методами при осуществлении мониторинга земель являются:

- наземные съемки, обследования и наблюдения;
- методы дистанционного зондирования Земли.

Оперативным способом получения актуальной и достоверной графической информации о местоположении границ земельных участков является аэрофотосъемка территории с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Метод дистанционного зондирования с использованием БПЛА становится все более перспективным инновационным способом получения геодезической основы при проведении мониторинга земель, землеустроительных и кадастровых работ. Это касается в первую очередь создания актуальных цифровых карт крупных масштабов) [7].

Использование БПЛА при выполнении мониторинга земель позволяет не учитывать ограничения по времени года, рельефу, транспортной доступности. В последние годы произошло резкое снижение стоимости воздушной съемки и ее камеральной обработки. Это связано, в том числе, со значительной цифровизацией производственных процессов. Произошло существенное увеличение производительности вычислительных устройств, что позволило производить ранее не доступную обработку данных на персональных компьютерах сегмента SOHO. Развитие автопилотов снизило стоимость и повысило качество БПЛА. Все вышперечисленное позволило сделать геодезические БПЛА доступными для широких масс потребителей. Широкое использование БПЛА повысило оперативность выполнения работ, увеличило точность топографо-геодезических данных, повысило частоту обновления различных цифровых карт и планов и позволило упростить создание 3D моделей местности.

Основные результаты

Сахалинская область обладает значительным земельным, природно-ресурсным и инвестиционно-строительным потенциалом. Правительство Сахалинской области большое влияние уделяет строительству и обновлению инфраструктуры острова. На территории области ежегодно сдается более сотни различных объектов капитального строительства - от гражданских и промышленных зданий до автомобильных дорог и аэродромов. Для осуществления контроля за большим количеством строительных объектов, отходами производства, несанкционированными свалками твердых коммунальных отходов (ТКО) особенно эффективными являются инновационные технологии, связанные с использованием беспилотных воздушных судов.

В данной статье освещена практическая апробация возможностей использования дронов при проведении мониторинга земель на примере Сахалинской области, где в 2020 году по инициативе губернатора впервые проведен конкурс «Чистые острова», основной целью которого было выявление стихийных свалок на территории острова именно с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Для информационного сопровождения конкурса создан портал <https://map.sakhalin.gov.ru>, где размещается актуальная информация о свалках и их статусе. Страница портала представлена на рисунке 1. Участники предоставляли информацию о найденных свалках в виде сообщения содержащего фотографию свалки с БПЛА и координат в системе WGS 84.

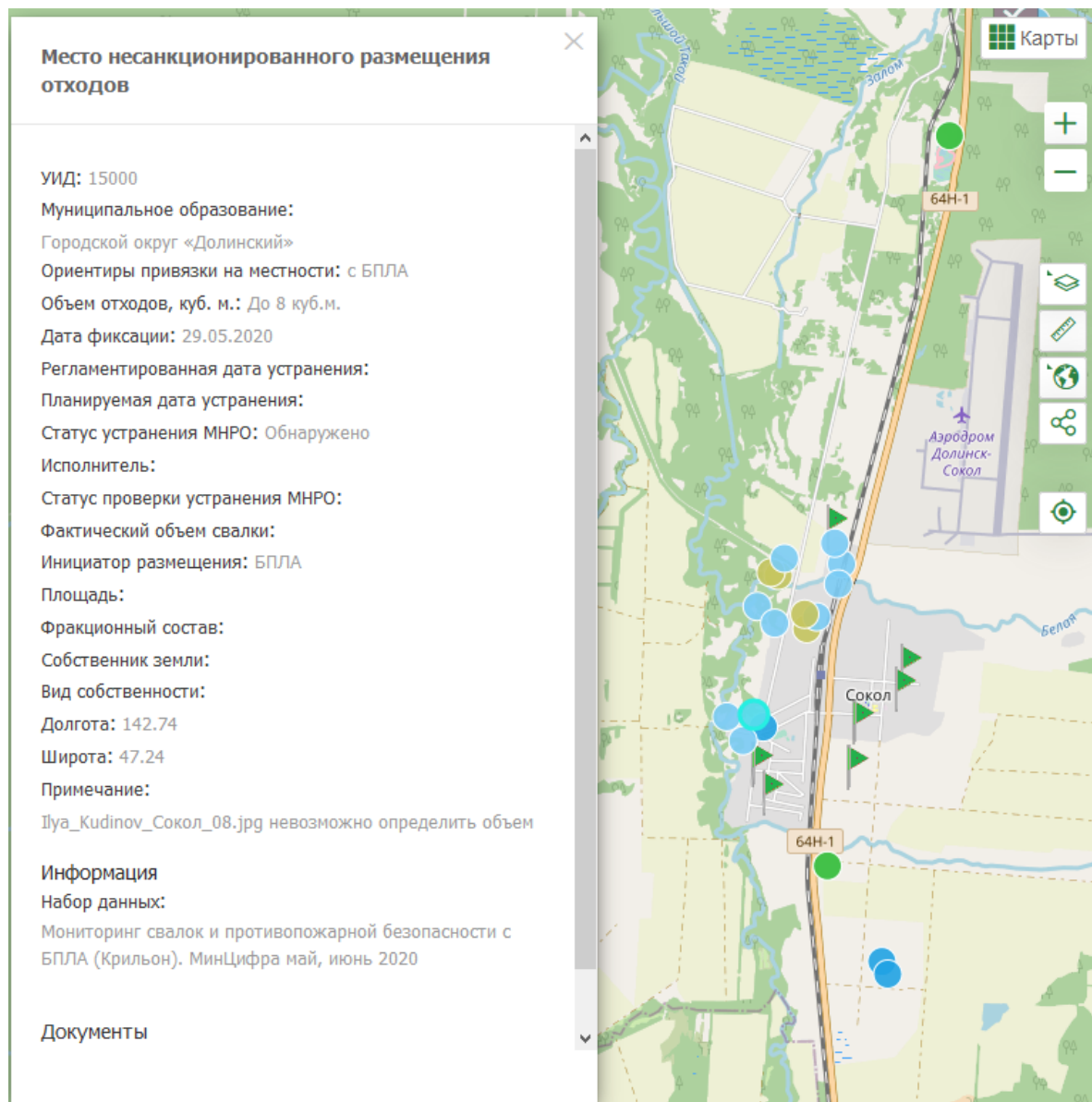


Рис. 1 – Информационная система правительства Сахалинской области

Выбор технологии съемки. Для эффективного поиска свалок с использованием БПЛА нами был выбран способ сплошной съемки территории по заданному маршруту с дальнейшим анализом итоговых результатов на персональном компьютере.

Важным требованием конкурса являлось использование БПЛА, зарегистрированного в Федеральном агентстве воздушного транспорта (Росавиация). Продолжительность конкурса составляла 7 дней, что исключало возможность зарегистрировать новый БПЛА. Нами был выбран БПЛА массой менее 249 граммов DJI Mavic Mini. С учетом веса 249 грамм, Mavic Mini не подпадает под правила Постановления Правительства РФ №658, в соответствии с которыми с 27 сентября 2019 года все БПЛА весом более 250 грамм и менее 30 килограмм необходимо ставить на учет в Росавиации [8], [9], [10].

Так как к точности не было предъявлено конкретных требований, использовались координаты, полученные навигационным GPS приемником. Характеристики БПЛА представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики БПЛА

Взлетная масса ¹	249 г
Размеры	В сложенном состоянии: 140×82×57 мм (Д×Ш×В) В разложенном состоянии: 160×202×55 мм (Д×Ш×В) В разложенном состоянии (с пропеллерами): 245×290×55 мм (Д×Ш×В)
Размер по диагонали	213 мм
Макс. скорость набора высоты	4 м/с (режим S) 2 м/с (режим P) 1,5 м/с (режим C)
Макс. скорость снижения	3 м/с (режим S) 1,8 м/с (режим P) 1 м/с (режим C)

Окончание таблицы 1 – Характеристики БПЛА

Макс. скорость (на уровне моря в штиль)	13 м/с (режим S) 8 м/с (режим P) 4 м/с (режим C)
Макс. высота полета над уровнем моря	3000 м
Макс. время полета	30 минут (измерения производились при полете со скоростью 14 км/ч без ветра)
Макс. допустимая скорость ветра	8 м/с (при 4 баллах по шкале Бофорта)
Диапазон рабочих температур	0°...+40°С
Спутниковые системы позиционирования	GPS+ГЛОНАСС
Точность позиционирования	В вертикальной плоскости: $\pm 0,1$ м (визуальное позиционирование), $\pm 0,5$ м (спутниковое позиционирование) В горизонтальной плоскости: $\pm 0,1$ м (визуальное позиционирование), $\pm 1,5$ м (спутниковое позиционирование)
Матрица	1/2,3" CMOS Число эффективных пикселей: 12 млн
Объектив	Угол обзора: 83° 35 мм (эквивалент формата 24 мм) Диафрагма: f/2.8 Фокус: от 1 м до ∞
Выдержка	Скорость электронного затвора: 4–1/8000 с

DJI Mavic Mini не позволяет в автоматическом режиме снимать по заданному маршруту, поэтому управление им осуществлялось вручную. Для апробации технологии поиска свалок с помощью БПЛА были выбраны следующие населенные пункты: Быков, Углезаводск, Шахтерск, Углегорск, Стародубское, Советское. Съемка происходила в дневное время при благоприятных погодных условиях. Примеры полученных с БПЛА снимков представлены на рисунке 2.

Для выполнения сплошной съемки территория делилась на квадраты по 2 кв.км, точка старта выбиралась в середине данного квадрата. Данные параметры деления территория обусловлены оптимальным расстоянием для устойчивой радиосвязи с БПЛА. Съемка велась в надир. Интервал съемки между снимками 3 сек., на скорости 6 м/с. При ветре до 4-6 м/с площадь съемки составляла 60 Га.

Серии снимков анализировались с помощью различных цифровых ассистентов (фильтров) с целью обнаружения областей с нестандартно высоким альбедо, для дальнейшего их более детального изучения при камеральной обработке.

Результаты проведения работы. Всего произведено 40 полетов за 4 дня. Общая площадь съемки составила 2159 Га, количество найденных стихийных свалок по населенным пунктам Сахалинской области представлено в таблице 2.



Рис. 2 – Снимки свалок с БПЛА

Таблица 2 – Количество обнаруженных свалок

Населенный пункт	Более 4 куб.м.	Менее 4 куб.м.
Шахтерск	15	32
Углегорск	23	41
Советское	1	3
Стародубское	8	12
Быков	7	13
Углезаводск	4	7

Общее количество обнаруженных свалок составило 162 шт., из них более 4 куб.м. - 58 шт. Метод поиска свалок с использованием БПЛА зарекомендовал себя как эффективный. Он позволил выявлять свалки в труднодоступных местах, где наземный способ мониторинга был бы неэффективен ввиду труднодоступности свалок. Сравнение трудозатрат при производстве работ с использованием БПЛА и наземным методом представлено на рисунке 3 [11].

Себестоимость используемого оборудования составляет 35 000 рублей, расходных материалов 10300 рублей. Срок службы БПЛА - более 500 полетов, срок службы батарей - 50 полетов. Один полет БПЛА обходится в среднем в 119 рублей. Без учета транспортных расходов и заработной платы, стоимость обнаружения одной свалки составила 29 рублей 38 копеек. Таким образом, использование БПЛА для целей мониторинга земель можно считать экономически выгодным.

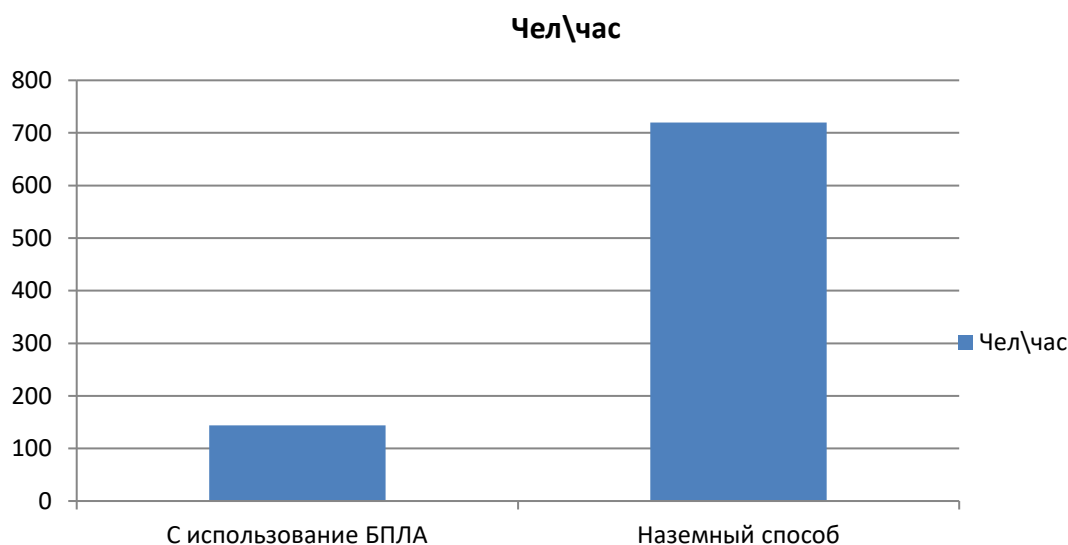


Рис. 1 – Сравнение расходов наземным способом съемки и с использованием БПЛА

Заключение

В данный момент на рынке присутствует большое количество геодезических БПЛА различного назначения. Современные технологии позволили устанавливать высокоточное оборудование на БПЛА весом от 249 грамм. Если 7-8 лет назад съемка с БПЛА применялась для крупных объектов в сотни гектар, то сейчас экономически целесообразно вести съемку объектов любого размера. Использование данной технологии снижает стоимость производства полевых работ.

В настоящее время особенно актуально использование БПЛА при выполнении работ в отношении земель сельскохозяйственного назначения, труднодоступных земель, земель лесного и водного фонда. Вероятные улучшения от использования беспилотных летательных аппаратов: оперативность; повышение точности топографо-геодезических данных; создание и обновление цифровых карт и планов; создание 3D моделей местности; своевременный мониторинг экологического состояния земель; выявление незаконных объектов строительства.

Резюмирую, можно сделать вывод о том, что использование инновационных технологий мониторинга земель (БПЛА) позволяет создать полное информационное поле первичных данных, благодаря которым появляется возможность получения разнообразных агрегированных, аналитических и прогнозных данных, требующихся органам управления для оперативного реагирования, выработки стратегии и принятия необходимых управленческих решений.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бабашкин, Д.В. Сравнение эффективности аэрофототопографической съемки с использованием беспилотных и пилотируемых авиационных систем / Д.В. Бабашкин, С. А. Кадничевский, С. С. Нехин. – Москва : ООО «Информационное агентство «ГРОМ», 2017. – 14 с.
2. Слюсарь Н.Н. Экологический мониторинг объектов размещения отходов с применением беспилотных летательных аппаратов / Н.Н. Слюсарь, Г.М. Батракова // Экология и промышленность России. 2018; 22(8) С.44-49.

3. Тихонова, К. В. Предложения по оптимизации внесения сведений в ЕГРН с целью повышения эффективности муниципального земельного контроля / К. В. Тихонова, С. А. Жирёнкин, А. А. Симонова. – Ростов-на-Дону : Экономика и экология территориальных образований, 2018. – С. 103–111.
4. Храмов А. В. Возможности экологического мониторинга с применением БПЛА в России / А. В. Храмов, А. А. Ермолаев, А. И. Шалашова и др.- Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 7.-2017.- С. 79-84.
5. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс] URL: <https://pkk5.rosreestr.ru/> (дата обращения 02.05.2021).
6. Цекоева Ф.К. Мониторинг земель на основе новых технологий / Ф.К. Цекоева // Московский экономический журнал №1 2017. - С 67-71.
7. Липина Л.Н. Оценка состояния окружающей среды в районе горнопромышленного освоения с применением ГИС-технологий / Л.Н. Липина, А.В. Вдовенко // Экология промышленного производства. 2019. № 3 (107). С. 51-54.
8. Воздушный кодекс Российской Федерации" от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 31.12.2017).
9. Постановление Правительства РФ от 25.05.2019 г. № 658 «Об утверждении Правил учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в РФ».
10. Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации» утвержденные постановлением Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 30.01.2018).
11. Вдовенко А.В. Использование беспилотных летательных аппаратов для кадастровой съемки в зимний период / А.В. Вдовенко, И.В. Кудинов // Материалы секционных заседаний 58-й студенческой научно-практической конференции ТОГУ. В двух томах. 2018. С. 339-342.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Babashkin, D. V. Sravneniye effektivnosti aerofototopograficheskoy s"yemki s ispol'zovaniyem bespilotnykh i pilotiruyemykh aviatsionnykh sistem [Comparison of the efficiency of aerial topographic survey using unmanned and manned aircraft systems] / D. V. Babashkin, S. A. Kadnichevsky, S. S. Nekhin. - Moscow: LLC "Information Agency" GROM ", 2017. - 14 p. [in Russian]
2. Slyusar N.N. Ekologicheskii monitoring ob"yektov razmeshcheniya otkhodov s primeneniym bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Environmental monitoring of waste disposal facilities using unmanned aerial vehicles] / N.N. Slyusar, G.M. Batrakova // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. [Ecology and industry of Russia]. 2018; 22 (8) P.44-49. [in Russian]
3. Tikhonova, K. V. Predlozheniya po optimizatsii vneseiya svedeniy v YEGRN s tsel'yu povysheniya effektivnosti munitsipal'nogo zemel'nogo kontrolya [Proposals for optimizing the entry of information into the USRN in order to increase the efficiency of municipal land control] / K. V. Tikhonova, S. A. Zhirenkin, A. A. Simonova // Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy [Economy and ecology of territorial entities], 2018. - pp. 103–111. [in Russian]
4. Khramov A. V. Vozmozhnosti ekologicheskogo monitoringa s primeneniym BPLA v Rossii [Possibilities of environmental monitoring using UAVs in Russia] / A. V. Khramov, A. A. Ermolaev, A. I. Shalashova et al. - Izvestia ETU "LETI" St. Petersburg No. 7.-2017.- P. 79- 84. [in Russian]
5. Publichnaya kadastravaya karta [Public cadastral map]. [Electronic resource] URL: <https://pkk5.rosreestr.ru/> (accessed 05/02/2021). [in Russian]
6. Tsekoeva F.K. Monitoring zemel' na osnove novykh tekhnologiy [Monitoring of lands based on new technologies] / F.K. Tsekoeva // Moscow Economic Journal No. 1 2017.- P. 67-71. [in Russian]
7. Lipina L.N. Otsenka sostoyaniya okruzhayushchey sredy v rayone gornopromyshlennogo osvoyeniya s primeneniym GIS-tekhnologiy [Assessment of the state of the environment in the area of mining development with the use of GIS technologies] / L.N. Lipina, A.V. Vdovenko // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production]. 2019. No. 3 (107). P. 51-54. [in Russian]
8. Vozdushnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii [Air Code of the Russian Federation] dated 03.19.1997 N 60-FZ (as amended on 31.12.2017). [in Russian]
9. Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 25.05.2019 g. № 658 «Ob utverzhdenii Pravil ucheta bespilotnykh grazhdanskikh vozdushnykh sudov s maksimal'noy vzletnoy massoy ot 0,25 kilogramma do 30 kilogrammov, vvezennykh v Rossiyskuyu Federatsiyu ili proizvedennykh v RF» [Decree of the Government of the Russian Federation of May 25, 2019 No. 658 "On approval of the Rules for accounting for unmanned civil aircraft with a maximum take-off weight of 0.25 kg to 30 kg imported into the Russian Federation or manufactured in the Russian Federation"]. [in Russian]
10. Federal'nyye pravila ispol'zovaniya vozdushnogo prostranstva Rossiyskoy Federatsii» utverzhdeniye postanovleniyem Pravitel'stva RF ot 11.03.2010 N 138 (red. ot 30.01.2018)[Federal rules for the use of the airspace of the Russian Federation "approved by the Government of the Russian Federation of March 11, 2010 N 138 (revised on January 30, 2018)]. [in Russian]
11. Vdovenko A.V. Ispol'zovaniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya kadastravoy s"yemki v zimniy period [The use of unmanned aerial vehicles for cadastral surveying in winter] / A.V. Vdovenko, I.V. Kudinov // V sbornike: Materialy sektiornykh zasedaniy 58-y studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii TOGU. V dvukh tomakh [In the collection: Materials of sectional sessions of the 58th student scientific-practical conference PNU. In two volumes]. 2018. P. 339-342. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.036>

**ПРОБЛЕМА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАВЫШЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДУЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
НА ПРИМЕРЕ МЕЛО–МЕРГЕЛЬНЫХ ПОРОД**

Научная статья

Губарев С.А.*

ORCID: 0000-0002-6086-6215,

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия

* Корреспондирующий автор (gubarev.sereja[at]yandex.ru)

Аннотация

Возведение сооружений на мел – мергельном грунте в мировой практике насчитывает несколько столетий. На территории Европы, данный тип грунта, получил распространение при строительстве таких сооружений как: мосты, путепроводы и тоннели.

Повсеместная распространённость мел – мергельных пород на территории России, в частности, на территории Белгородской области, обусловило проведение инженерных изысканий, в том числе, применение метода статического зондирования. Данное исследование проводится с целью экспериментального определения расчетных характеристик мел – мергельного грунта с помощью погружения зонда.

У данного способа имеется ряд недостатков, на одном из которых в данной работе было заострено особое внимание. Это проблема получения завышенных результатов при проведении статического зондирования. В данной работе были выделены причины и найдены решения данной проблемы.

Ключевые слова: статическое зондирование, мел – мергельная порода, фундамент, сопротивление грунта, зонд.

**ON THE ISSUE OF OBTAINING INFLATED RESULTS OF THE STUDIED CHARACTERISTICS
USING STATIC PROBING AND BASED ON CHALK - MARL ROCKS**

Research article

Gubarev S.A.*

ORCID: 0000-0002-6086-6215,

Belgorod State Technological University, Belgorod, Russia

* Corresponding author (gubarev.sereja[at]yandex.ru)

Abstract

The construction of structures on chalk-marl soil across the world has been performed for several centuries. In Europe, this type of soil has become widespread in the construction of structures such as bridges, overpasses and tunnels.

The ubiquity of chalk-marl rocks on the territory of Russia, particularly on the territory of Belgorod Oblast, has led to engineering surveys, including the use of the static probing method. The study is carried out for the purpose of experimental determination of the calculated characteristics of the chalk – marl soil by means of probe immersion.

This method has a number of disadvantages, one of which has been of particular interest for this research. This is the problem of obtaining inflated results when conducting static probing. The paper identifies the causes and solutions to this problem.

Keywords: static probing, chalk - marl rock, foundation, soil resistance, probe.

Введение

Мел, как порода, представляет собой полускальную, осадочную горную породу, являющийся разновидностью известняка, которая имеет зоогенное происхождение, представленная в датском, туронском, сантонском коньякском, маастрихтском и кампанском ярусах. Его физико - механические характеристики зависят не только от структурно - текстурных особенностей, соотношения слагающих его компонентов, но и от природных факторов окружающей среды: влажности и температуры.

В настоящее время в Белгородской области исследование характеристик меловых грунтов производится в результате инженерно - геологических изысканий. В частности, в поймах р. Везелка и р. Северский Донец пласт мела залегают в непосредственной близости от поверхности и чаще всего находится в водонасыщенном состоянии [1].

Актуальность исследования обусловлена широким использованием метода статического зондирования грунтов, изменением требований к проектированию фундаментов в современном строительстве, а также выявленным существенным расхождением исследуемых характеристик грунтов.

Методы и принципы исследования

Статическое зондирование представляет собой метод исследования грунтов, представляющий собой получение сведений о послойном составе и свойствах грунтов на строительных площадках, где планируется возведение свайного фундамента и где не представляется возможным использование иных методик [2].

Суть статического, заключается в последовательном и непрерывном вдавливании зонда в грунт, при определенном давлении, специально подобранной установкой, скорость погружения достигает 1,5 метра в минуту. После завершения исследований, штанги и зонд извлекаются из образовавшейся скважины, которая, в свою очередь, тампонируется.

По данным обработки результатов зондирования определяются значения удельного сопротивления грунта прониканию конического наконечника и трения грунта по боковой поверхности зонда в зависимости от глубины.

Ценность статического зондирования состоит в возможности в установлении отметки кровли прочных пород, к которым относятся и мел – мергельные породы.

Чаще всего, кровля мела, подстилающая четвертичные отложения, существенно подвержена процессам выветривания, что приводит к её разрушению до пастообразного состояния, с постепенным переходом в трещиноватый массив и большей сохранностью исходной структуры коренного мела [3], [4].

Основные результаты

Совместно с лабораторией ООО «Белгородстройизыскания», были проведены исследование участка местности на территории города Белгорода, с использованием метода статического зондирования. По экспериментальным данным инженерно – геологических изысканий, было представлено геологическое строение участка местности в таблице 1.

Таблица 1 – Инженерно-геологическое строение

№ ИГЭ	Глубина, м	Мощность, м	Отметка, м	Описание грунтов	Геологический возраст
1	2,4	1,7	172,5	Насыпной грунт	t IV
2	3,1	1,4	171,1	Песок мелкий, средней плотности, малой степени водонасыщения	Q _{3al}
3	3,7	0,6	170,5	Суглинок полутвердый	
4	4,8	1,1	169,4	Песок мелкий, плотный, малой ст. водонасыщения	
5	9,0	5,1	164,3	Суглинок полутвердый, слоистый, ожелезнённый, с прослойками цементированного суглинка и глины	
6	15,0	5,1	159,2	Мел белый, выветрелый, дресвяно – щебнистый	K ₂

А также представлены данные статического зондирования, которые отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Сопротивлению грунта зонду

Глубина, м	Сопротивление грунта зонду					Наименование грунта
	удельное		лобовое, кН	боковое, кН	общее, кН	
	лобовое, МПа	боковое, кПа				
1,0	2,6	21	2,60	0,74	3,34	Насыпной грунт
1,2	2,5	21	2,50	0,74	3,24	
1,4	1,4	19	1,40	0,67	2,07	
1,6	2,9	14	2,90	0,49	3,39	
1,8	5,2	27	5,20	0,95	6,15	
2	7,4	47	7,40	1,65	9,05	
2,2	10,1	58	10,10	2,03	12,13	
2,4	3,6	64	3,60	2,24	5,84	
2,6	6,2	49	6,20	1,72	7,92	Песок
2,8	5,8	49	5,80	1,72	7,52	
3	6,4	51	6,40	1,79	8,19	Суглинок
3,2	3,8	56	3,80	1,96	5,76	
3,4	1,3	16	1,30	0,56	1,86	
3,6	2,6	10	2,60	0,35	2,95	
3,8	14,0	25	14,00	0,88	14,88	Песок
4	13,4	105	13,40	3,68	17,08	
4,2	28,2	115	28,20	4,03	32,23	
4,4	28,6	195	28,60	6,84	35,44	
4,6	7,8	430	7,80	15,08	22,88	
4,8	5,9	364	5,90	12,76	18,66	
5	4,2	156	4,20	5,47	9,67	Суглинок
5,2	2,6	144	2,60	5,05	7,65	
5,4	4,1	115	4,10	4,03	8,13	
5,6	3,8	121	3,80	4,24	8,04	
5,8	5,6	121	5,60	4,24	9,84	
6	2,4	138	2,40	4,84	7,24	
6,2	4,6	91	4,60	3,19	7,79	
6,4	3,4	154	3,40	5,40	8,80	
6,6	3,6	152	3,60	5,33	8,93	

Окончание таблицы 2 – Сопротивлению грунта зонду

Глубина, м	Сопротивление грунта зонду					Наименование грунта
	удельное		лобовое, кН	боковое, кН	общее, кН	
	лобовое, МПа	боковое, кПа				
6,8	3,7	142	3,70	4,98	8,68	Суглинок
7	8,5	142	8,50	4,98	13,48	
7,2	2,0	189	2,00	6,63	8,63	
7,4	4,6	152	4,60	5,33	9,93	
7,6	4,0	163	4,00	5,71	9,71	
7,8	3,6	138	3,60	4,84	8,44	
8	6,6	245	6,60	8,59	15,19	
8,2	5,3	210	5,30	7,36	12,66	
8,4	4,4	142	4,40	4,98	9,36	
8,6	3,5	169	3,50	5,93	9,43	
8,8	2,9	158	2,90	5,54	8,44	
9	3,0	132	3,00	4,63	7,63	
9,2	3,0	109	3,00	3,62	6,82	
9,4	2,6	108	2,60	3,58	6,28	
9,6	3,7	91	3,70	3,19	6,89	
9,8	10,9	121	10,90	4,24	15,14	
10	3,0	138	3,00	4,84	7,84	Мел
10,2	4,0	97	4,00	3,40	7,40	
10,4	4,0	109	4,00	3,82	7,82	
10,6	3,6	108	3,60	3,68	7,28	
10,8	2,9	70	2,90	2,45	5,35	
11	4,1	74	4,10	2,59	6,69	
11,2	3,4	60	3,40	2,10	5,50	
11,4	3,4	117	3,40	4,10	7,50	
11,6	2,2	99	2,20	3,47	5,67	
11,8	6,4	109	6,40	3,82	10,22	
12	3,6	95	3,60	3,33	6,93	
12,2	4,4	80	4,40	2,80	7,20	
12,4	3,6	142	3,60	4,98	8,58	
12,6	2,5	64	2,50	2,24	4,74	
12,8	2,5	47	2,50	1,65	4,15	
13	3,1	64	3,10	2,24	5,34	
13,2	2,9	58	2,90	2,03	4,93	
13,4	4,6	80	4,60	2,80	7,40	
13,6	4,0	64	4,00	2,24	6,24	
13,8	4,4	68	4,40	2,38	6,78	
14	4,2	64	4,20	2,24	6,44	
14,2	4,8	68	4,80	2,38	7,18	
14,4	4,9	86	4,90	3,02	7,92	
14,6	5,0	78	5,00	2,73	7,73	
14,8	3,6	74	3,60	2,59	6,19	
15	5,0	78	5,00	2,73	7,73	
15,2	5,2	78	5,30	2,73	8,03	

По СП 50–102–2003 был выполнен расчет основных характеристик, для свай периметром 1,2 м, необходимых для расчета свайного фундамента, опирающегося на мел, данные которого представлены в таблице 3 [5], [6].

Таблица 3 – Расчетные значения по мелу

Глубина погружения, м	Сопротивление под нижним концом сваи, кПа	Боковое сопротивление сваи на 1 м слоя, кПа	Нормативное боковое сопротивление сваи, кПа	Предельно сопротивление сваи, кН		
				под нижним концом	На боковой поверхности	общее
10,0	3018	56,40	55,77	271,66	669,25	940,90
11,0	2733	45,50	54,84	245,93	723,85	969,78
12,0	2572	48,00	54,27	231,50	781,45	1012,95
13,0	2677	39,82	53,16	240,90	829,23	1070,13
14,0	3092	35,60	51,90	278,24	871,96	1150,19

Сталкиваясь со статическим зондированием, многие изыскатели отмечают, что значения деформационных характеристик, полученных при использовании статического зондирования, отличаются в большую сторону от значений, которые определяются лабораторными методами. Эта проблема находит своё подтверждение и на примере исследования характеристик представленной территории [7], [8], [9].

Значительные расхождения выявляются при определении угла внутреннего трения, которые в некоторых случаях, достигают двукратной разницы между полевыми и лабораторными методами исследований. Данная проблема, с меньшим расхождением, возникает и при определении несущей способности свай, где прослеживается обратная зависимость, данные статического зондирования отличаются в меньшую сторону, а погрешность остаётся довольно большой, в диапазоне 20 – 30 % [10], [11], [12].

Одной из основных причин, такого рода погрешностей, является наступление предельного равновесия. Оно возникает в процессе нагружения грунта при заглублении зонда и продолжительном росте напряжения. При достижении пикового напряжения, грунт начинает разрушаться. Не маловажную роль играет скорость, с которой грунт разрушается, так как в моменте она резко возрастает и превышает скорость заглубления зонда, что подтверждается скачкообразностью определяемых характеристик в этот момент.

Для того чтобы минимизировать погрешности и решить проблему, необходимо использовать модернизированные установки статического зондирования, использующие современные технологии по измерению напряжения в толще грунта, регулирующие скорость погружения зонда и имеют повышенную частоту обновления данных. Так же необходимо использование пространственного анализа данных, включающего в себя соединение близлежащих скважин, с помощью автоматизированного ПО, для представления полной инженерно – геологической модели разреза, визуализации и дальнейшего 3D моделирования модели грунта, с возможностью переноса данных в программный продукт для проектирования фундамента [13].

Одной из таких современных установок, является установка СРТ. Надежность получаемых данных обеспечивается контролем качества, выполняемым непосредственно при производстве работ и в процессе обработки данных. При этом конечные фактические результаты зондирования практически лишены влияния человеческого фактора, которое растёт в процессе последующего анализа данных и их интерпретации [14].

Таким образом, для фиксации автоколебаний системы «зонд-грунт» при проведении статического зондирования необходимо применение систем непрерывной регистрации, позволяющих отслеживать параметры дискретного погружения с целью определения статических и динамических характеристик прочности грунта. В процессе вдавливания современного зонда оператор имеет возможность визуального контроля глубины и скорости погружения. При работе в режиме трансляции данных на мониторе отображаются результаты зондирования в режиме реального времени.

Так как все методы инженерной геологии взаимосвязаны, они всегда должны использоваться комплексно, с учетом конкретных грунтовых условий, а также ограничений каждого метода. Грамотное их сочетание и совместный анализ получаемых результатов - залог успеха в исследовании площадки работ.

Заключение

На данный момент метод статического зондирования является одним из наиболее перспективных в области инженерных изысканий, потому что способен решать задачи исследования грунтовых массивов на значительной глубине залегания, действуя с минимальными нарушениями структуры пород и при этом обладая экономической целесообразностью, а в некоторых случаях и вовсе не имеет аналогов [15].

Значения, полученные в ходе данного исследования, представляют собой особую ценность, так как при возведении свайного фундамента, на данном участке местности, под проектируемое сооружение значительного веса и малой площади, конец сваи, по предварительному расчету, вполне может оказаться погружен в кровлю мела, для которого табличных данных для расчета – нет.

Без статического зондирования, в этом случае, невозможно обойтись и исходя из полученных данных, опирание концов свай на мел является обоснованной рекомендацией, для устройства фундамента на данном типе грунта, так как сопротивление грунта на боковой поверхности сваи и под её нижним концом приближены к табличным значениям глинистых грунтов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Иванова, Е. О. Верхнемеловые отложения юго–запада ЦЧЭР (Белгородская и Курская области) / Е. О. Иванова, А. Д. Савко // Труды НИИ геологии Воронеж. гос. ун–та. Вып. 64, 2011. – 206 с.
2. Кулачкин Б.И. Экспериментально-теоретические исследования и разработка метода зондирования в инженерной геологии / Б.И. Кулачкин : Дисс. доктора г.-м. наук. – М., 1990
3. Грунты России. Т. 1. / Т. В. Андреева и др. – М.: КДО, 2011. – 672 с.
4. Трофимов В.Т. Грунтоведение / В. Т. Трофимов, В. А. Королёв, Е. А. Вознесенский. М.: Изд–во МГУ, 2005. 1024 с.
5. Трабукин В.В. Особенности использования мело–мергельных образований в качестве оснований зданий и сооружений / В.В. Трабукин // ВЕСТНИК ВГУ. СЕРИЯ: ГЕОЛОГИЯ. 2017. № 4 – 127с.
6. Погорелов Ю.С. Опыт комплексирования геофизических методов «Немфис» и РАП при инженерно–геологических исследованиях разреза с меловыми отложениями / Ю.С. Погорелов, А.И. Рыбалов, Б.Я. Адигамов и др. Инженерная геофизика 2015 – Геленджик, Россия, 20–24 апреля 2015 г.
7. Сергеев С.В. Инженерно–геологические условия функционирования комплекса Белгородского государственного университета / С.В. Сергеев, М.А. Рыбалов // Научные ведомости НИУ БелГУ. Серия Естественные науки 3(74), (10), 2010.

8. Болдырев Г.Г. Комплексная технология инженерно-геологических изысканий / Г.Г. Болдырев, В.А. Барвашов, И.Х. Идрисов и др. // Вестник ПНИПУ. – 2017. – Т. 8 – № 3. – С. 22–33.
9. McCann T. Pocket Guide Geology in the Field / Tom McCann. Springer, Berlin, Heidelberg 2021 №1, VI, 162 p. DOI: 10.1007/978-3-662-63082-2
10. Сергеев С.В. Особенности сооружения свайных фундаментов в меловых грунтах / С.В. Сергеев, А.И. Рыбалов, Н.С. Соколов // Жилищное строительство 4, 33–39 (2017).
11. Леонычев, А.В. Проблемы использования мело-мергельных пород в качестве основания сооружений и их решение / А.В. Леонычев : Автореф. док. тех. наук. Москва (1995).
12. Губарев С.А. Использование мел - мергельных пород в качестве основания, для проектирования свайных фундаментов / С.А. Губарев, Т.Г. Калачук; Ключев С.В., Ключев А.В. (ред.) // Материалы Международной конференции Промышленное и гражданское строительство 2021. ICC 2021 года. Конспекты лекций по гражданскому строительству, том 147, С. 176-181.
13. Шокальский М.Ю. Методы статического зондирования грунтов CPTU, SCPT и RCPT: практика применения, анализа и обработки их результатов / М.Ю. Шокальский // Журнал «Инженерные изыскания», №8/2013, С. 40-45.
14. Драновский А. К интерпретации результатов статического зондирования грунтовых оснований / А. Драновский, А. Латыпов // Известия КазГАСУ. 2010. №1 (13), С. 162-169.
15. Латыпов А. Об интерпретации данных статического зондирования грунтов / А. Латыпов, Е. Яббарова // Известия Томского Политехнического Университета. Инжиниринг Георесурсов, Том 330, № 10 (2019), С. 82-90.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ivanova, E. O. Verhnelovye otlozhenija jugo-zapada CChJeR (Belgorodskaja i Kurskaja oblasti) [Upper Cretaceous Deposits of the South-West of the Central Black Sea Region (Belgorod and Kursk Regions)] / E. O. Ivanova, A. D. Savko // Trudy NII geologii Voronezh. gos. un-ta. [Proceedings of the Research Institute of Geology of Voronezh State University] Vol. 64, 2011. – p. 206 [in Russian]
2. Kulachkin B.I. Jeksperimental'no-teoreticheskie issledovanija i razrabotka metoda zondirovanija v inzhenernoj geologii [Experimental and Theoretical Research and Development of the Sounding Method in Engineering Geology] / B.I. Kulachkin // Dissertation of the Doctor of Geological and Mineralogical Sciences – M., 1990 [in Russian]
3. Grunty Rossii [Soils of Russia]. Vol. 1. / T. V. Andreeva et al. – M.: KDO, 2011. – p. 672 [in Russian]
4. Trofimov, V. T. Gruntovedenie [Soil Science] / V. T. Trofimov, V. A. Koroljov, E. A. Voznesenskij. – M.: Publishing house MGU, 2005. – p. 1024 [in Russian]
5. Trabukin V.V. Osobennosti ispol'zovanija melo-mergel'nyh obrazovanij v kachestve osnovanij zdanij i sooruzhenij [Features of the Use of Chalk-Marl Formations as Bases of Buildings and Structures] / V.V. Trabukin // VESTNIK VGU. SERIJA: GEOLOGIJA. [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology] 2017. № 4 – p. 127 [in Russian]
6. Pogorelov Ju.S. Opyt kompleksirovanija geofizicheskikh metodov «Nemfis» i RAP pri inzhenerno-geologicheskikh issledovanijah razreza s melovymi otlozhenijami [Experience of Integration of Geophysical Methods “Nemfis” and RAP in Engineering-Geological Studies of a Section With Cretaceous Deposits] / Ju.S. Pogorelov, A.I. Rybalov, B.Ja. Adigamov et al. // Inzhenernaja geofizika 2015 [Engineering Geophysics 2015] – Gelendzhik, Russia, April 20–24, 2015 [in Russian]
7. Sergeev S.V. Inzhenerno-geologicheskie uslovija funkcionirovanija kompleksa Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta [Engineering and Geological Conditions of Functioning of the Belgorod State University Complex]. / S.V. Sergeev, M.A. Rybalov // Nauchnye vedomosti NIU «BelGU». Serija Estestvennye nauki. [Scientific Bulletin of the National Research University “BelSU”. Natural Sciences Series.] 3(74)(10), (2010). [in Russian]
8. Boldyrev G.G. Kompleksnaja tehnologija inzhenerno-geologicheskikh izyskanij [Complex Technology of Engineering and Geological Surveys] / G.G. Boldyrev, V.A. Barvashov, I.H. Idrisov et al. // Vestnik PNIU [PSTU Bulletin]. – 2017. – Vol. 8 – № 3. – pp. 22–33. [in Russian]
9. McCann T. Pocket Guide Geology in the Field / Tom McCann. Springer, Berlin, Heidelberg 2021 №1, VI, 162 p. DOI: 10.1007/978-3-662-63082-2
10. Sergeev S.V. Osobennosti sooruzhenija svajnyh fundamentov v melovyh gruntah [Features of the Construction of Pile Foundations in Chalk Soils]. / S.V. Sergeev, A.I. Rybalov, N.S. Sokolov // Zhilishhnoe stroitel'stvo 4 [Housing Construction 4], 33–39 (2017). [in Russian]
11. Leonychev, A.V.: Problemy ispol'zovanija melo-mergel'nyh porod v kachestve osnovanija sooruzhenij i ih reshenie: Avtoref. dok. teh. nauk. [Problems of Using Chalk-Marl Rocks as the Foundation of Structures and Their Solution: Abstract of Dissertation of the Doctor of Technical Sciences.] / A.V. Leonychev - Moskva (1995). [in Russian]
12. Gubarev S.A. Ispol'zovanie mel - mergel'nyh porod v kachestve osnovanija, dlja proektirovanija svajnyh fundamentov [The Use of Chalk - Marl Rocks as a Base for the Design of Pile Foundations]. [Electronic resource] / S.V. Kljuev, A.V. Kljuev (ed.) // Materialy Mezhdunarodnoj konferencii Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo 2021. ICC 2021 goda. Konspekty lekcij po grazhdanskomu stroitel'stvu [Proceedings of the International Conference Industrial and Civil Construction 2021. Icc 2021. Lecture Notes on Civil Engineering], Volume 147, pp. 176-181. [in Russian]
13. Shokal'skij M.Ju.: Metody staticheskogo zondirovanija gruntov CPTU, SCPT i RCPT: praktika primenenija, analiza i obrabotki ih rezul'tatov [Methods of Static Sounding of Soils CPTU, SCPT and RCPT: Practice of Application, Analysis and Processing of Their Results] / M.Ju. Shokal'skij // Zhurnal «Inzhenernye izyskanija» [“Engineering Surveys” Magazine], №8/2013, pp. 40-45. [in Russian]
14. Dranovskij A. K interpretacii rezul'tatov staticheskogo zondirovanija gruntovyh osnovanij [On the Interpretation of the Results of Static Sounding of Soil Bases] / A. Dranovskij, A. Latypov // Izvestija KazGASU [Kazan State University of Architecture and Engineering Bulletin]. 2010. №1 (13), pp. 162-169. [in Russian]
15. Latypov A. Ob interpretacii dannyh staticheskogo zondirovanija gruntov [On Interpretation of Data of Static Sounding of Soils] [Electronic resource] / A. Latypov, E. Jabbarova // Izvestija Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta. Inzhiniring Georesursov [Tomsk Polytechnic University Bulletin. Georesources Engineering], Volume 330, № 10 (2019), pp. 82-90. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.037>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Научная статья

Елизарьев А.Н.¹, Тараканов Д.А.^{2,*}, Садыков И.В.³, Елизарьева Е.Н.⁴, Михайлов С.А.⁵

¹ ORCID: 0000-0002-5612-8121;

² ORCID: 0000-0003-0253-8624;

⁴ ORCID: 0000-0001-5297-5561;

⁵ ORCID: 0000-0001-9394-9714;

^{1, 2, 3, 5} Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия;

⁴ Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

* Корреспондирующий автор (tarakanov021098[at]gmail.com)

Аннотация

В данной работе исследована эффективность биопереработки отходов пищевой промышленности с получением биогаза и определены оптимальные условия для его производства в больших объемах. С этой целью проведен эксперимент по определению качественного и количественного состава получаемого биогаза и переработанного вещества. Одновременно проанализированы оптимальные параметры работы биореактора. Согласно полученным результатам наиболее эффективной является биопереработка неотработанного масла при средней температуре 34,0 °С. При этом увеличение интенсивности образования биогаза обуславливается быстрым ростом численности используемых в ходе эксперимента метанообразующих бактерий. Полученный биогаз на 80% состоит из CH₄, 19% CO₂ и 1% прочих газов.

Ключевые слова: биотопливо, биоэнергетика, биогаз, биогазовая установка, биопереработка, жиросодержащие отходы.

AN INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF BIO-PROCESSING OF FOOD INDUSTRY WASTE

Research article

Elizaryev A.N.¹, Tarakanov D.A.^{2,*}, Sadykov I.V.³, Elizaryeva E.N.⁴, Mikhaylov S.A.⁵

¹ ORCID: 0000-0002-5612-8121;

² ORCID: 0000-0003-0253-8624;

⁴ ORCID: 0000-0001-5297-5561;

⁵ ORCID: 0000-0001-9394-9714;

^{1, 2, 3, 5} Ufa State Aviation Technical University (USATU), Ufa, Russia;

⁴ Bashkir State University, Ufa, Russia

* Corresponding author (tarakanov021098[at]gmail.com)

Abstract

In this study, the efficiency of food industry waste bio-processing with producing biogas is investigated and optimal conditions for its production in large volumes are determined. For this purpose, an experiment to determine the qualitative and quantitative biogas composition and obtained processed substance was conducted. At the same time, the bioreactor operation optimal parameters were analyzed. According to the obtained results, the most effective is the bio-processing of unprocessed oil at an average temperature of 34,0 °C. Meanwhile, the increase of biogas production intensity is caused by a rapid growth of methane-forming bacteria amount used during the experiment. The obtained biogas consists of 80% CH₄, 19% CO₂ and 1% other gases.

Keywords: biofuel, bioenergy, biogas, biogas plant, bio-processing, fat-containing waste.

Введение

На сегодняшний день потребность населения от энергии перешла в устойчивую зависимость. С каждым днем человечество расходует колоссальные объемы энергии, что способствует увеличению использования невозобновляемых природных ресурсов. Результатом этого является комплексное воздействие на окружающую среду, что приводит к ее деградации.

В связи с этим в мире набирает тенденцию переход на альтернативные источники энергии и технологии замкнутого цикла. Одним из видов альтернативных источников энергии является биотопливо, получаемое из растительного или животного сырья, а также из продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов.

Учитывая современную мировую проблему, связанную с образованием и рациональной утилизацией разного рода отходов, биотопливо, как альтернативный источник энергии, приобретает большую актуальность [1]. Разработка инновационных технологий, способствующих рациональной и эффективной утилизации отходов и выработке на их основе энергии, позволяет достичь решения рассматриваемых проблем.

В частности, одной из разновидностей биотоплива является биогаз, получаемый водородным или метановым брожением биомассы. Работы многих ученых посвящены исследованию биогаза и его получению (выработке) из отходов органического происхождения [2], [3], [9], [10]. В статье [2] авторы приводят обоснование актуальности получения альтернативных видов топлива из возобновляемого сырья растительного происхождения, они также рассматривают возможность совмещения производства биотоплива из рапса с использованием для фиторемедиации почв. Немецкие ученые в своей работе [3] исследуют качественный состав биогаза, согласно результатам исследования основными компонентами биогаза являются метан (60...95%) и углекислый газ (5...40%). В работе [4] рассматриваются источники и виды сырья, используемого для получения биогаза. Согласно результатам работы биогаз вырабатывают из

отходов органического происхождения, в большом количестве скапливающихся при ведении приусадебного хозяйства, разведении домашних птиц и животных. В качестве сырья применяют навоз крупного и мелкого скота, силос, отходы бойни, жиры, пищевые отходы, молочную сыворотку, свекольную ботву, солодовый остаток и пр. Большинство перечисленных видов сырья можно смешивать между собой.

При этом преобладание в исходном сырье жиросодержащих отходов повышает содержание метана в образуемом биогазе – при производстве биогаза из отходов неподобранного состава содержание метана составляет 30-40%, при производстве биогаза с соблюдением оптимальных условий (вид используемого сырья, температура, влажность, вид метанобразующих бактерий и др.) содержание метана в нем увеличивается до 90-95% [3], [4]. Кроме того, при несоблюдении оптимального технологического режима в составе производимого биогаза может содержаться значительное количество сероводорода, который в комбинации с диоксидом углерода оказывает коррозионное воздействие на металлические составляющие биогазовой установки [5].

В связи с этим актуальным является исследование эффективности биопереработки отходов пищевой промышленности с получением биогаза и определение оптимальных условий его производства.

Методы и принципы исследования

Для исследования эффективности переработки различных видов отходов пищевой промышленности и определения оптимальных условий в биореакторе, при которых наблюдается высокая динамика образования биогаза, проводится эксперимент, состоящий из определения качественного и количественного состава получаемого биогаза и состава получаемого переработанного вещества, а также определения оптимальных параметров в биореакторе.

Методика проведения эксперимента предполагает:

- подготовку и настройку оборудования;
- загрузку органического сырья и штаммов метанобразующих бактерий в биореактор;
- ежедневный контроль параметров производства и выделения биогаза.

По окончании эксперимента определяется расход биогаза в зависимости от времени, а также содержание метана в биогазе в зависимости от используемого исходного органического сырья и времени.

Для проведения эксперимента использовались метанобразующие бактерии вида «Methanobacteriales», представители рода Methanosarcina.

На рис. 1 представлена схема экспериментальной модели лабораторной биогазовой установки.

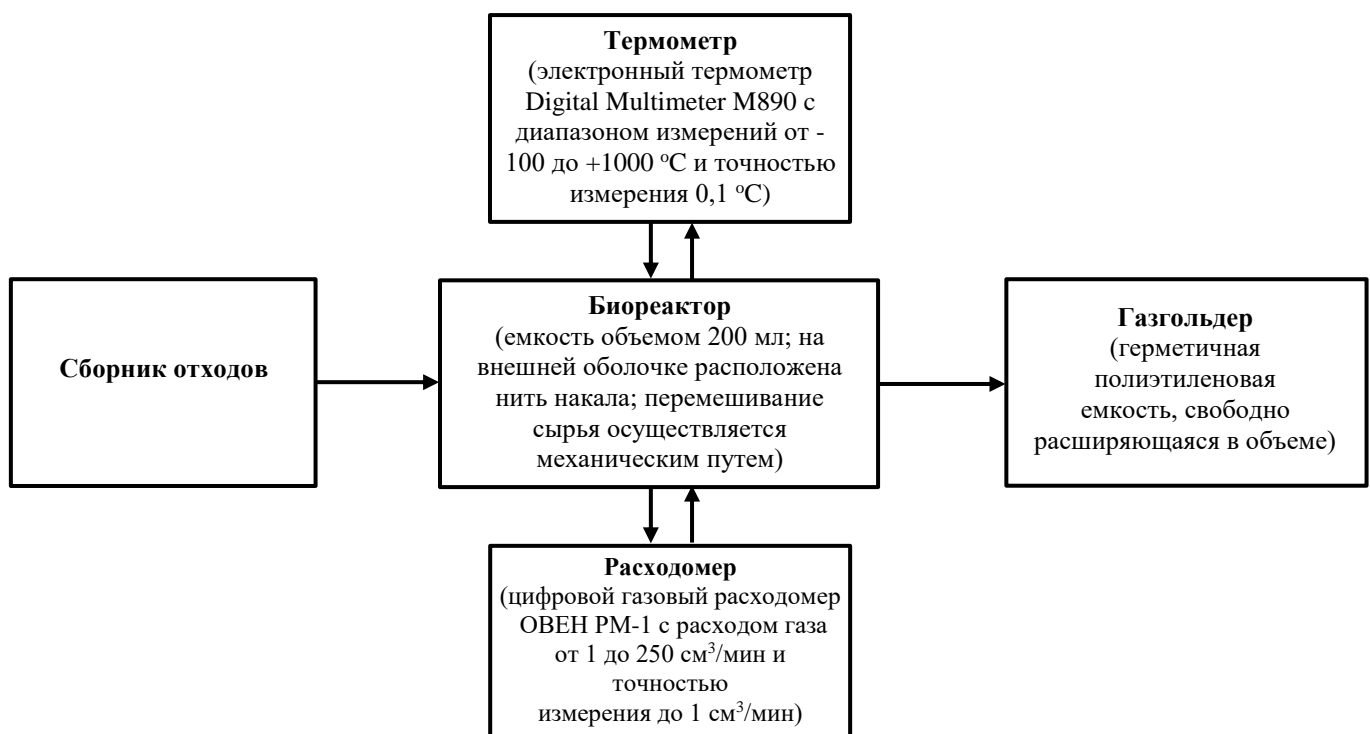


Рис. 1 – Схема экспериментальной модели лабораторной биогазовой установки

В качестве исходного сырья были использованы неотработанное растительное масло (в двух различных температурных режимах) и отработанный кулинарный жир, подвергавшийся температурной обработке – нагрев до 120 °C, температурная обработка 15 минут и постепенное охлаждение до исходной температуры.

Выбор температурных режимов осуществлялся на основании данных из литературных источников [3]. Наиболее благоприятные условия для существования метанобразующих бактерий создаются, по разным данным, при температурах 29 °C и 34 °C.

В ходе эксперимента исследуемые образцы исходного сырья помещались в биореактор и подвергались биопереработке с различными температурными режимами в биореакторе, соответствующим 29 °C и 34 °C

- образец I – неотработанное растительное масло, средняя температура в биореакторе $t_1 = 29,0$ °C;
- образец II – неотработанное растительное масло, средняя температура в биореакторе $t_{23} = 34,0$ °C;

– образец III – отработанный кулинарный жир, средняя температура в биореакторе $t_{23} = 34,0$ °С.
Продолжительность эксперимент составила 40 дней. Перемешивания субстрата осуществлялось 1 раз в день после каждого замера.

Основные результаты и обсуждение

Результаты эксперимента графически интерпретированы на рис. 2.

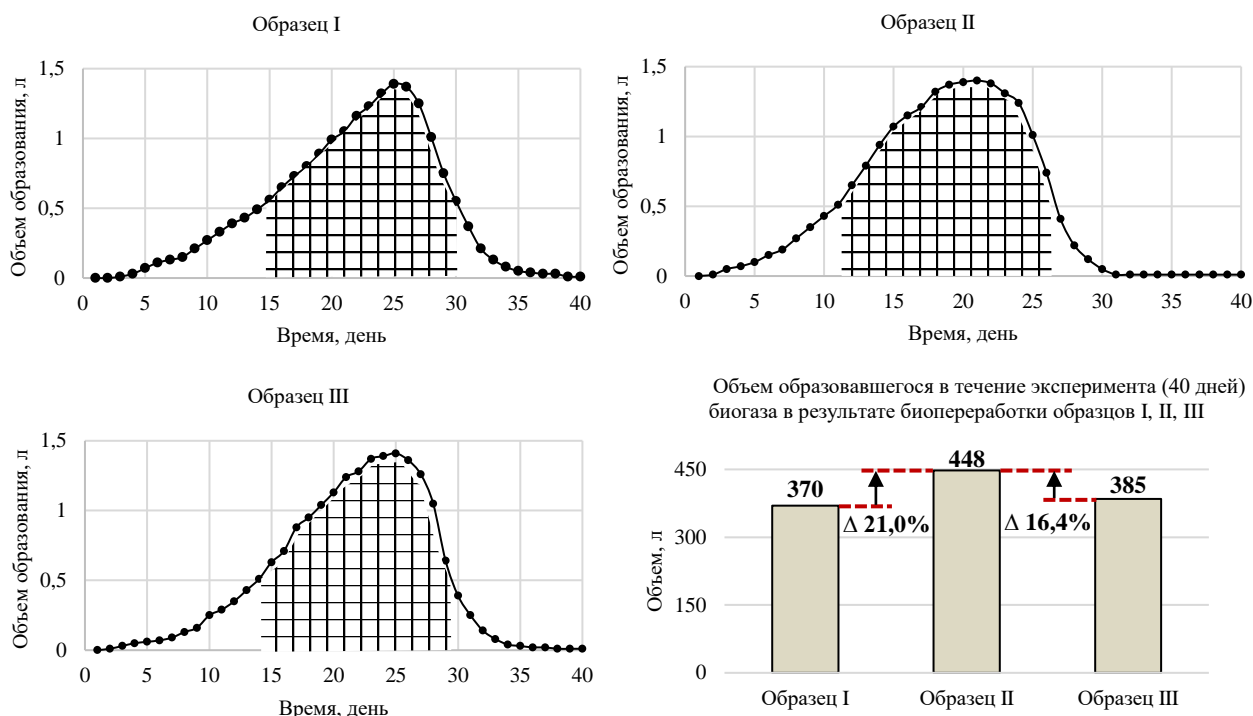


Рис. 2 – Динамика образования биогаза:

заштрихованные области – периоды, соответствующие наибольшей интенсивности образования биогаза

Из результатов анализа рис. 2 видно, что период наибольшей интенсивности образования биогаза соответствует 15 дням, начиная со второй декады периода проведения эксперимента. Это обуславливается быстрым ростом численности метанообразующих бактерий в биореакторе и степенью доступности сырья для микроорганизмов. При этом наибольшая интенсивность образования биогаза соответствует образцам II и III, которые подвергались биопереработке при $t_{23} = 34,0$ °С, из которых наиболее эффективным для производства биогаза является неотработанное растительное масло – 448 л образовавшегося биогаза (на 21,0% и 16,4% больше объемов биогаза, полученных в ходе переработки II и III образцов соответственно).

Согласно результатам лабораторной оценки количественного и качественного состава образованного биогаза в результате переработки образца II полученный продукт состоит из 80% CH_4 , 19% CO_2 и 1% прочих газов.

Заключение

Таким образом, объем биогаза, производимого при биопереработке органических отходов (биомассы), зависит от качественного состава используемого субстрата, а также технологических условий, при которых происходит процесс биопереработки. Согласно результатам эксперимента среди исследуемых образцов наиболее эффективна биопереработка неотработанного масла при средней температуре в биореакторе равной 34,0 °С. При этом увеличение интенсивности образования биогаза обуславливается быстрым ростом численности используемых в ходе эксперимента метанообразующих бактерий и степенью доступности субстрата для микроорганизмов. Полученный биогаз на 80% состоит из CH_4 , 19% CO_2 и 1% прочих газов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Файзуллина А. А. Динамика образования отходов производства и потребления в 2018 г. на территории Республики Башкортостан / А. А. Файзуллина, А. Н. Елизарьев, Э. С. Насырова // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 182–184.
2. Elizareva E. Combining Phytoremediation Technologies of Soil Cleanup and Biofuel Production / E. Elizareva, Y. Yanbaev, N. Redkina et al. // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. – 2018. – P. 257–266.

3. Эдер Б. Биогазовые установки. Практическое пособие / Б. Эдер, Х. Шульц // Берлин: Zorg Biogas. – 2008. – 268 с.
4. Fargione J. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt / J. Fargione, J. Hill, D. Tilman et al. // *Environmental Science, Medicine*. – 2008. – P. 1235–1238.
5. Тихонравов В. С. Ресурсосберегающие биотехнологии производства альтернативных видов топлива в животноводстве / В. С. Тихонравов // *Научно-аналитический обзор*. – М: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2011. – 52 с.
6. Suslov D. Y. Experimental studies of obtaining biogas from waste of meat processing enterprises / D. Y. Suslov, P. S. Sedyh // *International Scientific Conference BUILDINTECH BIT 2020: Innovations and Technologies in Construction*. – 2020. – Vol. 945. – Vol. 1. – 8 p.
7. Karim K. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing / K. Karim, K. T. Klasson, R. Hoffmann, S. R. Drescher, D. W. DePaoli, M. H. Al-Dahhan // *Bioresource Technology*. – 2005. – Vol. 96. – Vol. 14. – P. 1607-1612.
8. Malollari I. Anaerobic codigestion of organic substrate for energetic biogas obtaining and review / I. Malollari, P. Kotori, P. Hoxha, L. Lici et al. // *Journal of Environmental Protection and Ecology*. – 2016. – Vol. 1. – P. 323-330.
9. Sikora J. The effect of the addition of a fat emulsifier on the amount and quality of the obtained biogas / J. Sikora, M. Niemiec, A. Szelag-Sikora, M. Komorowska et al. // *Energies*. – 2020. – Vol. 13. – Vol. 7. – 12 p.
10. Otero A. Biogas production from slaughterhouse waste: Effect of blood content and fat saponification / A. Otero, M. Mendoza, R. Carreras, B. Fernandez // *Waste Management*. – 2021. – Vol. 133. – P. 119-126.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fayzullina A. A. Dinamika obrazovaniya othodov proizvodstva i potrebleniya v 2018 g. na territorii Respubliki Bashkortostan [Dynamics of production and consumption waste generation in 2018 on the territory of the Republic of Bashkortostan] / A. A. Fajzullina, A. N. Elizaryev, E. S. Nasyrova // *Ekologicheskij monitoring opasnyh promyshlennykh ob"ektov: sovremennye dostizheniya, perspektivy i obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti naseleniya: sbornik nauchnykh trudov po materialam Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Environmental monitoring of hazardous industrial facilities: modern achievements, prospects and ensuring environmental safety of the population: collection of scientific papers based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. – 2019. – P. 182–184. [in Russian]
2. Elizareva E. Combining Phytoremediation Technologies of Soil Cleanup and Biofuel Production / E. Elizareva, Y. Yanbaev, N. Redkina et al. // *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018*. – 2018. – P. 257–266.
3. Eder B. Biogazovye ustanovki. Prakticheskoe posobie [Biogas plants. Practical guide] / B. Eder, H. SHul'c // Берлин: Zorg Biogas. – 2008. – 268 p. [in Russian]
4. Fargione J. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt / J. Fargione, J. Hill, D. Tilman et al. // *Environmental Science, Medicine*. – 2008. – P. 1235–1238.
5. Tihonravov V. S. Resursosberegayushchie biotekhnologii proizvodstva alternativnykh vidov topliva v zhitovnovodstve [Resource-saving biotechnologies to produce alternative fuels in animal husbandry] / V. S. Tihonravov // *Nauchno-analiticheskij obzor* [Scientific and analytical review]. – М: FSBSI «Rosinformaagrotekh». – 2011. – 52 p. [in Russian]
6. Suslov D. Y. Experimental studies of obtaining biogas from waste of meat processing enterprises / D. Y. Suslov, P. S. Sedyh // *International Scientific Conference BUILDINTECH BIT 2020: Innovations and Technologies in Construction*. – 2020. – Vol. 945. – Vol. 1. – 8 p.
7. Karim K. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing / K. Karim, K. T. Klasson, R. Hoffmann, S. R. Drescher, D. W. DePaoli, M. H. Al-Dahhan // *Bioresource Technology*. – 2005. – Vol. 96. – Vol. 14. – P. 1607-1612.
8. Malollari I. Anaerobic codigestion of organic substrate for energetic biogas obtaining and review / I. Malollari, P. Kotori, P. Hoxha, L. Lici et al. // *Journal of Environmental Protection and Ecology*. – 2016. – Vol. 1. – P. 323-330.
9. Sikora J. The effect of the addition of a fat emulsifier on the amount and quality of the obtained biogas / J. Sikora, M. Niemiec, A. Szelag-Sikora, M. Komorowska et al. // *Energies*. – 2020. – Vol. 13. – Vol. 7. – 12 p.
10. Otero A. Biogas production from slaughterhouse waste: Effect of blood content and fat saponification / A. Otero, M. Mendoza, R. Carreras, B. Fernandez // *Waste Management*. – 2021. – Vol. 133. – P. 119-126.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.038>

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕКУЩИХ ДОБЫЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научная статья

Келигов М.-Б.С.*

Тюменский Индустриальный Университет, Тюмень, Россия

* Корреспондирующий автор (rem-06[at]list.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы анализа и оценки текущих добычных характеристик эксплуатационных скважин по результатам газодинамических исследований. В связи с нарастающим истощением газовых месторождений за последние два десятилетия первоочередной задачей топливно-энергетических компаний является оценка критериев, позволяющих определить эффективность разработки сеноманских залежей газа в условиях сниженного пластового давления. Существуют технологические и технико-экономические критерии разработки.

Практическое значение статьи заключается в том, что исследование может быть использовано для обоснования технологических и технико-экономических критериев разработки сеноманских залежей газа в условиях снижения пластового давления.

Ключевые слова: добыча, скважина, эксплуатация, газовые месторождения, промысел.

AN ANALYSIS AND EVALUATION OF CURRENT PRODUCTION CHARACTERISTICS OF PRODUCTION WELLS BASED ON THE RESULTS OF GAS-DYNAMICS STUDIES

Research article

Keligov. M.-B.S.*

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

* Corresponding author (rem-06[at]list.ru)

Abstract

The article deals with the analysis and evaluation of the current production characteristics of production wells based on the results of gas-dynamics studies. Due to the increasing depletion of oil fields over the past two decades, the primary task of fuel and energy companies is to assess the criteria for determining the effectiveness of the development of Cenomanian gas deposits in reduced reservoir pressure. There are technological, technical and economic criteria for such development.

The practical significance of the article lies in the fact that the study can be used to substantiate the technological, technical and economic criteria for the development of Cenomanian gas deposits in conditions of reduced reservoir pressure.

Keywords: production, well, operation, gas fields, development

Введение

Одной из актуальных задач повышения эффективности разработки крупных газовых месторождений является задача обоснования и назначения технологических режимов эксплуатации скважин, при которых обеспечивается плановая производительность промысла.

Материалы и методы исследования

В работе наряду с общими методами научного анализа (сводно-логическим и сравнительным) использовался комплексный подход, модели и методы системного анализа, объектно-ориентированная методология проектирования сложных систем (Object Mode lfor System Design - OMSD), методы экономического и математического моделирования, имитационное моделирование. В целях повышения достоверности результатов исследований и обоснованности рекомендаций в работе используются экономико-математические методы разработки и моделирование.

Результаты исследования и их обсуждение

Трудно найти такие проблемы при проектировании, которые бы имели столь многовариантное и сугубо субъективное решение, как технологический режим. В большинстве случаев отсутствуют какие-либо обоснованные критерии, превышение которых было бы нецелесообразным.

Режим эксплуатации каждой скважины должен обосновываться с учетом возможности деформации, разрушения призабойной зоны, образования песчано-жидкостной пробки в пределах интервала перфорации, образования конуса подошвенной воды, гидратов в призабойной зоне и в стволе, конструкции скважины и т.д. Который должен быть использован при прогнозировании показателей разработки. Расчет технологического режима работы скважин должен проводиться с учетом всех ограничений, накладываемых основными объектами газового промысла, такими как газосборная сеть, установка комплексной подготовки газа, дожимная компрессорная станция, межпромысловый коллектор [7].

Газодинамические исследования скважин являются одним из основных методов контроля за разработкой месторождения и необходимы для получения исходных данных для подсчета дренируемых запасов газа, проектирования и анализа разработки, обустройства промысла, обоснования технологического режима эксплуатации скважин и наземных сооружений, оценки эффективности ремонтно-профилактических работ и работ по интенсификации притока в скважинах [1].

К газодинамическим методам исследования скважин относится снятие кривой восстановления давления после остановки, снятие кривых стабилизации давления и дебита при пуске скважины в работу на определенном режиме (с

определенным диаметром шайбы, штуцера, диафрагмы) и снятие индикаторной кривой, отражающей зависимость между забойным давлением и дебитом при работе скважины на различных режимах [8].

Газосборная система газового промысла представляет собой группы кустов с подключением в шлейфы, по которым газ поступает на установку комплексной подготовки газа. На каждом кусте через гребенку подключаются от 2 до 5 скважин в один шлейф. Часть шлейфов объединена попарно и подключена к коллекторам диаметром 426 мм. Для коллектора группы кустов Западно-Песцовой площади используются трубы диаметром 273 - 530 мм. Общая протяженность шлейфов колеблется в широком диапазоне от 584 до 31075 м.

Всего на скважинах сеноманской газовой залежи X площади (рисунок 1.) за весь срок эксплуатации проведено более 1000 исследований на стационарных режимах фильтрации.

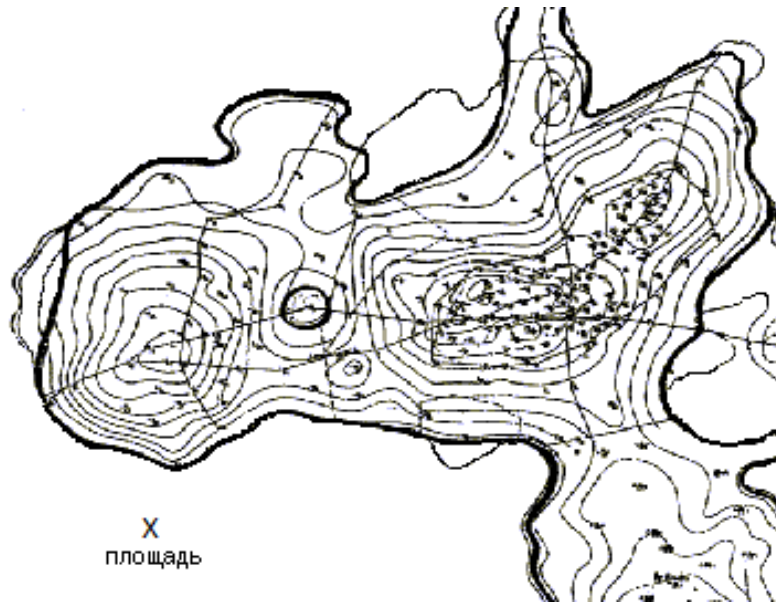


Рис. 1 – Контур площади -X Уренгойского месторождения

Анализ динамики коэффициентов фильтрационных сопротивлений во времени показывает, что на всем сроке разработки выделяются определенные периоды (рисунок 2).

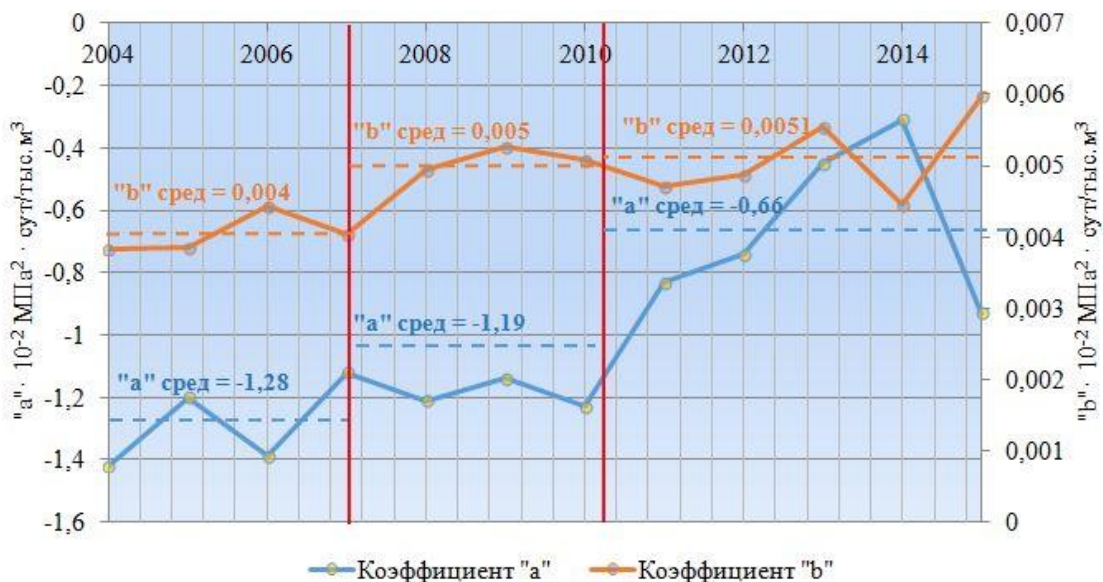


Рис. 2 – Динамика коэффициентов фильтрационных сопротивлений на установке комплексной подготовки газа -X Уренгойского месторождения

Первый охватывает 2004 – 2007 гг., в течение которого осуществлялось разбуривание площадей и загрязнение призабойной зоны пласта скважин фильтрациями технических растворов при вскрытии продуктивных отложений, что отрицательно влияло на величину коэффициентов продуктивности и фильтрационных коэффициентов. Следующий период включает 2008 – 2010 гг. и характеризуется постепенным уменьшением и стабилизацией коэффициентов продуктивности по мере очистки призабойной зоны пласта эксплуатационных скважин.

С 2010 г. характерно увеличение фильтрационных коэффициентов «а» в 1,8 раза относительно значений на конец второго периода. Увеличение коэффициента «а» свидетельствует об активном внедрении подстилающих вод, следует отметить, что уменьшение значений коэффициента «а» после 2014 г. вероятно связано с уменьшением отборов в связи с сокращением добычи. Сохранение показателей коэффициента «б» на прежнем уровне свидетельствует об отсутствии ухудшений состояния призабойной зоны пласта. Отрицательные значения фильтрационного коэффициента «а» связано

с тем, что газодинамические исследования проводилось только на режимах с высоким дебитом, причем существенно изменяющихся при увеличении депрессии, а также сопровождающихся высоким значением фильтрационного коэффициента «*b*».

Для анализа продуктивных характеристик скважин установки комплексной подготовки газа -X Уренгойского месторождения были построены индикаторные диаграммы в координатной плоскости $P_{пл}^2 - P_{заб}^2/Q$ по результатам газодинамических исследований за период 2004-2015 гг. На индикаторной диаграмме были построены графики, количество которых соответствует количеству проведенных исследований за весь анализируемый период на скважине по точкам, соответствующим количеству исследованных режимов в рамках каждого газодинамического исследования. Каждая линия располагается выше (ниже) других, что показывает ухудшение (улучшение) продуктивных характеристик скважины с течением времени. Данные линии показывают изменение дебита на аналогичном режиме при одинаковой депрессии, либо изменение приложенной депрессии для получения одинакового дебита.

Далее для каждого проведенного исследования по формуле (1) рассчитывалось среднее значение коэффициента продуктивности $K_{пр ср}$ и строился график динамики продуктивности [9].

$$K_{пр ср} = \frac{\sum_1^n \frac{\Delta P_n^2}{Q_n}}{n} \quad (1)$$

где $K_{пр ср}$ – коэффициент продуктивности;

n – количество режимов;

ΔP_n^2 – депрессия на режиме, МПа;

Q_n – дебит на режиме, тыс. м³/сут.

Для оценки изменения продуктивности скважины с течением времени использовались данные нескольких последних газодинамических исследований, в среднем охватывающие период 4-5 лет, и, в случае изменения $K_{пр ср}$ более чем на 15 % - 20 %, делался вывод об ухудшении или улучшении продуктивности скважины.

В результате анализа индикаторных диаграмм по скважинам, работающим без ограничения, построенных по результатам проведенных газодинамических исследований за все время эксплуатации скважин было выявлено:

- ухудшение продуктивности в 12 исследованных скважинах
- улучшение продуктивности в 9 исследованных скважинах
- незначительные изменения продуктивных характеристик относительно результатов газодинамических исследований, проведенных ранее в 79 скважинах

В результате анализа индикаторных диаграмм по скважинам, работающих с ограничением режима, построенных по результатам проведенных газодинамических исследований за все время эксплуатации скважин было выявлено:

- ухудшение продуктивности в 19 исследованных скважинах;
- улучшение продуктивности в 10 исследованных скважинах;
- незначительные изменения продуктивных характеристик относительно результатов газодинамических исследований, проведенных ранее в 33 скважинах;

Можно отметить, что скважины, на которых не происходит изменение продуктивных характеристик или отмечается их улучшение, эксплуатируются с оптимальными режимами и отборами газа.

Из 101 скважины установки комплексной подготовки газа -X, эксплуатирующейся без ограничения режима на 12 скважинах (11,9 %), а также из 62 скважин, эксплуатирующихся с ограничением на 19 скважинах (30,6 %) наблюдается ухудшение продуктивных характеристик, таким образом ограничение режима работы скважин по геолого-техническим причинам может привести к ухудшению продуктивности данных скважин.

Всего ухудшение продуктивных характеристик отмечено на 31 эксплуатационной скважине, по данным скважинам можно сделать следующие выводы:

- 1) из анализа сравнения продуктивности по кустам скважин можно отметить, что из 31 скважины:
 - а) на семи скважинах коэффициент продуктивности ниже средних расчетных по соседним кустовым скважинам;
 - б) на 13 скважинах наблюдается ухудшение продуктивных характеристик более интенсивно, чем в среднем падение по всему кусту скважин;
 - в) по остальным 11 скважинам продуктивность незначительно отличается от средних показателей по кусту;
- 2) из анализа положения текущего газо-водяного контакта относительно интервала перфорации можно отметить, что из 31 скважины:
 - а) на 12 скважинах по имеющимся данным о текущем положении уровне газо-водяного контакта, расстояние от текущего газо-водяного контакта относительно до нижних перфорационных отверстий составляет менее 10-12 м, что подтверждается данными гидрохимического анализа проб выносимой жидкости на двух скважинах
 - б) на восьми скважинах зафиксировано обводнение нижних перфорационных отверстий, что подтверждается данными гидрохимического анализа проб выносимой жидкости на пяти скважинах
 - в) на остальных 11 скважинах уровень текущего газо-водяного контакта выше нижних перфорационных отверстий больше, чем на 12 м и отсутствуют данные об анализе проб выносимой продукции, на данных рекомендуется отобрать пробы жидкости;
- 3) на семи скважинах с ухудшением продуктивных характеристик по результатам интерпретации данных гидрохимического анализа проб выносимой скважиной продукции наблюдается интенсивный вынос пластовой жидкости, вероятно связанный с подъемом газо-водяного контакта, в т. ч. из нижележащих обводнённых интервалов через негерметичность цементного камня за эксплуатационной колонной;
- 4) из анализа изменения рабочих дебитов скважин, работающих без ограничения, можно отметить:

а) на девяти скважинах по мере снижения продуктивных характеристик наблюдается уменьшение среднесуточных дебитов более чем на 100 тыс. м³/сут. при условии максимальных отборов газа в зимний период;

б) скважины, на которых уровень текущего газо-водяного контакта определяется выше нижних перфорационных отверстий, а также вынос пластовой жидкости подтверждается результатом гидрохимического анализа проб выносимой продукции рекомендуется рассмотреть при формировании программы геолого-технологических мероприятий.

Заключение

Таким образом, по результатам анализа продуктивности эксплуатационных скважин установки комплексной подготовки газа -Х Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения можно сделать следующие выводы:

- основной причиной снижения продуктивных характеристик скважин, а также увеличение фильтрационных коэффициентов «а» и «b», является преждевременное обводнение скважин, связанное с подъемом газо-водяного контакта вследствие пиковых нагрузок и опережающих отборов газа.

- в связи с отсутствием данных по замерам уровня текущих забоев скважин невозможно оценить влияние скапливающейся призабойной жидкости на продуктивные характеристики;

- рекомендуется проводить исследования по кривой восстановления давления при закрытии скважин с рабочих режимов в связи с сокращением отборов;

- по всему эксплуатационному фонду скважин рекомендуется проводить шестикомпонентный анализ проб выносимой скважинами продукции, проводить геофизические исследования для оценки динамики подъема уровня текущего газо-водяного контакта;

- не превышать максимально-допустимую проектную депрессию при отборах газа из-за риска интенсивного подтягивания конуса подошвенной воды [10].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Авдеева Л.А. Совершенствование методов планирования применения гидроразрыва пласта на нефтяных скважинах / Л.А.Авдеева, И.А.Соловьева, А.И.Гильмутдинов // Евразийский юридический журнал. 2018. № 6 (128). С. 411-414.

2. Гильмутдинов А.И. Совершенствование методов планирования геолого-технических мероприятий с учетом минимального рентабельного дебита скважин / А.И.Гильмутдинов, Л.А.Авдеева // Проблемы и тенденции развития инновационной экономики: международный опыт и российская практика: Материалы VI Международной научно-практической конференции. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. С. 103-105.

3. Диагностический анализ вопроса эффективности проведения гидравлического разрыва пласта / И.Г.Фаттахов, П.М.Малышев, А.Ф.Шакурова и др. // Фундаментальные исследования. 2015. № 2(27). С. 6023-6029.

4. Алиев З. С. Руководство по проектированию разработки газовых и газонефтяных месторождений / З. С. Алиев, В. В. Бондаренко. - Печора: Время, 2013. -894 с.

5. Арехов В.В. Диагностика состояния технических средств добычи и промысловой подготовки газа на основе последовательных измерений их эксплуатационных характеристик / В.В. Арехов, А.И. Ермолаев, А.А. Касьяненко // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности - № 5, 2016. - с. 44-47.

6. Ивановский И.И. Оборудование для сбора и подготовки газа на промыслах / И.И. Ивановский, И.С. Куликова, И.А. Мерициди. - М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2014. - 421 с.

7. Шешуков Н.Л. Сбор и подготовка продукции газовых и газоконденсатных месторождений / Н.Л. Шешуков. – Учебное пособие. – Тюменский государственный нефтегазовый университет – Тюмень, 2013. – 100 с.

8. Голик, В.И. Подземная разработка месторождений: Учебное пособие / В.И. Голик. - М.: Инфра-М, 2017. - 384 с.

9. Покрепин, Б.В. Разработка нефтяных и газовых месторождений: Учебное пособие / Б.В. Покрепин. - СПб.: Профессия, 2015. - 318 с.

10. Покрепин, Б.В. Разработка нефтяных и газовых месторождений: Учебное пособие / Б.В. Покрепин. - Рн/Д: Феникс, 2018. - 224 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Avdeeva L.A. Sovershenstvovanie metodov planirovaniya primeneniya gidrorazryva plasta na neftjanyh skvazhinah [Improvement of Methods for Planning the Use of Hydraulic Fracturing in Oil Wells] / L.A. Avdeeva, I.A. Solov'eva, A.I. Gil'mutdinov // Evrazijskij juridicheskij zhurnal [Eurasian Legal Journal]. 2018. № 6 (128). pp. 411-414. [in Russian]

2. Gil'mutdinov A.I. Sovershenstvovanie metodov planirovaniya geologo-tehnicheskikh meroprijatij s uchetom minimal'nogo rentabel'nogo debita skvazhin [Improvement of Methods of Planning Geological and Technical Measures Taking Into Account the Minimum Cost-Effective Flow Rate of Wells] / A.I. Gil'mutdinov, L.A. Avdeeva // Problemy i tendencii razvitiya innovacionnoj jekonomiki: mezhdunarodnyj opyt i rossijskaja praktika: Materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii [Problems and Trends in the Development of Innovative Economy: International Experience and Russian Practice: Materials of the VI International Scientific and Practical Conference]. Ufa: UGNTU, 2016. pp. 103-105. [in Russian]

3. Diagnosticheskij analiz voprosa jeffektivnosti provedeniya gidravlicheskogo razryva plasta [Diagnostic Analysis of the Issue of the Effectiveness of Hydraulic Fracturing] / I.G.Fattahov, P.M.Malyshev, A.F.Shakurova et al. // Fundamental'nye issledovanija [Fundamental Research]. 2015. № 2(27). pp. 6023-6029. [in Russian]

4. Aliev Z. S. Rukovodstvo po proektirovaniju razrabotki gazovyh i gazoneftjanyh mestorozhdenij [Guidelines for the Design of the Development of Gas and Gas-Oil Fields]. / Z. S. Aliev, V. V. Bondarenko - Pechora: Vremja, 2013. - p. 894 [in Russian]

5. Arehov V.V. Diagnostika sostojanija tehničeskix sredstv dobyči i promyslovoj podgotovki gaza na osnove posledovatel'nyh izmerenij ih jekspluatacionnyh harakteristik [Diagnostics of the State of Technical Means of Gas Extraction and Field Treatment Based on Sequential Measurements of Their Operational Characteristics] / V.V. Arehov, A.I. Ermolaev, A.A. Kas'janenko // Avtomatizacija, telemehanizacija i svjaz' v neftjanoj promyšlennosti [Automation, Telemechanization and Communication in the Oil Industry] - № 5, 2016. - pp. 44-47. [in Russian]
6. Ivanovskij I.I. Oborudovanie dlja sbora i podgotovki gaza na promyslah [Equipment for Collecting and Preparing Gas in the Fields]. / I.I. Ivanovskij, I.S. Kulikova, I.A. Mericidi - M.: RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina. 2014. - p. 421 [in Russian]
7. Sheshukov N.L. Sbor i podgotovka produkcii gazovyh i gazokondensatnyh mestorozhdenij. – Učebnoe posobie. [Collection and Preparation of Products of Gas and Gas Condensate Fields. - Textbook.] / N.L. Sheshukov – Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet – Tjumen', 2013. – p. 100 [in Russian]
8. Golik, V.I. Podzemnaja razrabotka mestorozhdenij: Učebnoe posobie [Underground Mining of Deposits: Textbook] / V.I. Golik. - M.: Infra-M, 2017. - p. 384 [in Russian]
9. Pokrepin, B.V. Razrabotka neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij: Učebnoe posobie [Development of Oil and Gas Fields: Textbook] / B.V. Pokrepin. - SPb.: Professija, 2015. - p. 318 [in Russian]
10. Pokrepin, B.V. Razrabotka neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij: Učebnoe posobie [Development of Oil and Gas Fields: Textbook] / B.V. Pokrepin. - Rn/D: Feniks, 2018. - p. 224 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.039>**ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ АЗОСОДЕРЖАЩИХ ИОНОВ В Р. БАКСАН ОТ ЕЁ ИСТОКОВ ДО ВЫХОДА НА РАВНИНУ И В СЕЗОННОЙ СНЕЖНОЙ ТОЛЩЕ ЛЕДНИКА ГАРАБАШИ (ЭЛЬБРУС)**

Научная статья

Керимов А.М.¹, Акшаяков З.Т.², Курашева О.А.³, *
^{1, 2, 3}Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

* Корреспондирующий автор (oks.anchik[at]mail.ru)

Аннотация

В последние десятилетия подробно изучается макрохимический состав реки Баксан и её притоков от истока до города Баксана в периоды с разным гидрологическим режимом. В данной работе рассматривается динамика концентраций азотосодержащих ионов и источники загрязнения р. Баксан на 14 стационарных пунктах отбора проб, соответствующих различному уровню загрязнённости – от ультрапресных до загрязнённых с 2005 по 2007 гг., а также результаты анализов проб снега из шурфа за 2017-2018 гг. зимнего снегонакопления на эталонном леднике Гарабаша (южный склон Эльбруса) на высоте 3900 м н.у.м.. Во всех отобранных пробах измерялась величина Ph, и неорганические соединения азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+). Все стационарные пункты отбора проб воды расположены по основному руслу реки Баксан. Динамики концентраций азотосодержащих ионов в р. Баксан так же дополнен результатами анализа проб за 2018г.

Ключевые слова: р. Баксан, главные ионы, ледник Гарабаша, химический состав.**DYNAMICS OF THE CONCENTRATION OF NITROGEN-CONTAINING IONS IN THE BAKSAN RIVER FROM ITS SOURCES BEFORE REACHING THE PLAIN AND IN THE SEASONAL SNOW MASS OF THE GARABASHI GLACIER (ELBRUS)**

Research article

Kerimov A.M.¹, Akshayakov Z.T.², Kurashева O.A.³, *
^{1, 2, 3}High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

* Corresponding author (oks.anchik[at]mail.ru)

Abstract

In recent decades, the macrochemical composition of the Baksan River and its tributaries from the source to the city of Baksan has been studied in detail during periods with different hydrological regimes. This paper examines the dynamics of concentrations of nitrogen-containing ions and sources of pollution of the Baksan River at 14 stationary sampling points corresponding to different levels of contamination — from fresh to polluted in the period from 2005 to 2007, as well as the results of analyses of snow samples from the pit for the period from 2017 to 2018 as well as the winter snow accumulation on the reference glacier Garabashi (southern slope of Elbrus) at an altitude of 3900 m above sea level. The Ph value and inorganic nitrogen compounds (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+) were measured in all selected samples. All stationary water sampling points are located along the main channel of the Baksan River. The dynamics of concentrations of nitrogen-containing ions in the Baksan river is also supplemented by the results of the analysis of samples for 2018.

Keywords: R. Baksan, main ions, Garabashi glacier, chemical composition.**Введение**

В условиях быстрого роста антропогенного воздействия и повсеместного изменения климата, которое происходит в последнее время, особенно важна проблема загрязнения природных вод. При изучении стокоформирующей роли ледников важны исследования их загрязнённости химическими веществами, оказывающими влияние на качество талых вод [1], [2]. Цель исследования: дать пространственно-временную характеристику концентрации азотосодержащих ионов в реке Баксан за последние десятилетия и оценить качество в данном речном бассейне.

Река Баксан берёт начало при слиянии рек Азау и Терскол, формирующихся при таянии ледников южного склона Эльбруса, и реки Донгуз-Орун. Река Баксан впадает в Малку на расстоянии 26 км от её устья. Длина реки 169 км, площадь водосборного бассейна 6800 км² – крупнейший по площади бассейна и длине приток Малки. Основные притоки: Адыл-Су, Адыр-Су, Герхожан-Су, Кишпек, Чегем, Черек (правые), Ирик, Гуделен (левые) [3]. Места отбора проб воды выбирались с таким расчетом, чтобы каждое из них характеризовало его влияние на вещественный состав речной воды. Все 14 стационарных пунктов отбора проб воды расположены по основному руслу реки Баксан и один – «хвостохранилище» Тырнаузского Вольфрам-Молибденного Комбината (ТВМК):

1. р. Большой Азау (поворот на Чегет),
2. развилка выше р. Адыл-Су,
3. выше моста ст. «Нейтрино»,
4. ниже с. В. Баксан,
5. выше г. Тырнауза,
6. ниже очистных сооружений г. Тырнауза,
7. «хвостохранилище» ТВМК,
8. г. Тырнауз – ниже фильтр. станции,
9. ниже моста п. Былым,
10. ниже родника Жанхотеко,
11. выше п. Заюково,
12. ниже п. Заюково,
13. ниже с. Кызбурун 1,

14. ниже с. Кызбурун 2 [4].

Методы исследования

Пробы отбирались в период весенней и осенней межени и летнего половодья. Химический анализы проб воды за 2005-2007 гг. проводились объёмным, пламенно-фотометрическим, фотометрическим, потенциометрическим методами [5], [6]. Определение химического состава азотсодержащих ионов на леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса) производился вышеуказанными методами. Во всех отобранных пробах измерялась величина Ph, и неорганические соединения азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+).

Обсуждение результатов

По результатам анализов были рассчитаны средние значения pH и минерализации для каждого пункта отбора проб в периоды с различным гидрологическим режимом. Во всех пробах, отобранных в пунктах по основному руслу р. Баксан значения pH были ниже ПДК и менялись от 6,7 до 8,6, а в пробах из «хвостохранилища» ТВМК отобранных в 2007 г. pH было повышенным (летом 10,4, осенью 9,8) (рис. 1).

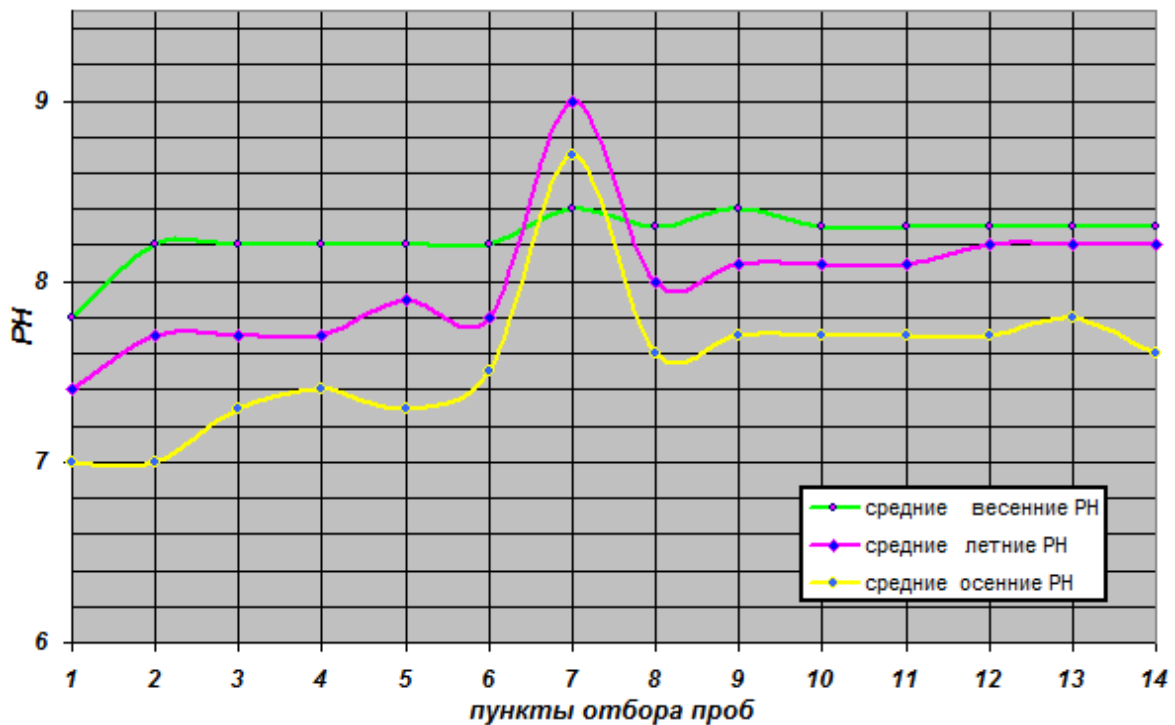


Рис. 1 – Расчеты средних значений pH [4].

Из рис. 1 видно, что, pH увеличивается вниз по течению; в период весенней межени имеют большее значение, чем в летнее половодье и осеннюю межень, что характерно для рек с ледниковым питанием. Также видно, что в пробах из хвостохранилища pH и минерализация выше, чем в пробах из соседних пунктов

Содержание нитрат – ионов на изучаемом участке реки менялось от аналитического нуля до 0,28 мг/л, что значительно ниже ПДК и позволяет характеризовать её воды как «хорошие» в отношении ионов NO_3^- .

Содержание нитрит – ионов в отобранных пробах колебалось от 0 до 0,180 мг/л. Превышение ПДК в два раза наблюдалось в пробах, отобранных ниже очистных сооружений Баксанской Нейтринной Обсерватории, очистных сооружений г. Тырнауза и в «хвостохранилище», что вызвано недостаточной очисткой сточных вод БНО и г. Тырнауза. Присутствие ионов аммония в поверхностных водах, как правило, указывает на свежее загрязнение т.к. далее ионы аммония окисляются до нитритов, а затем до нитратов [7].

Содержание ионов аммония на наблюдаемом участке реки варьировало от концентраций ниже предела обнаружения до 3,34 мг/л. Превышение ПДК ионов аммония в 5-7 раз в водах р. Баксан ниже очистных сооружений г. Тырнауза, ниже фильтровальной станции г. Тырнауза, ниже моста с. Былым, и ниже с. Кызбурун-2, и в «хвостохранилище» отмечалось в весенний период 2005 г. Загрязнение реки ионами аммония носит антропогенный характер и вызвано их выносом в реку сточными водами промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий и населённых пунктов [4], [8].

Содержание в водах р.Баксан нитрат – ионов, нитрит – ионов, ионов аммония, которые генетически связаны между собой и могут переходить друг в друга [9]. Ледник Гарабаши – часть южного склона ледникового массива Эльбруса, пятого по высоте вулкана мира (5642 м). Гарабаши, являющемся эталонным ледником, включённом в Международную службу мониторинга ледников в Швейцарии на котором ведутся непрерывные масс-балансовые измерения с 1982 г.

Пробы снега отбирались от световой поверхности в шурфе из слоев с одинаковыми структурно-стратиграфическими характеристиками, причём до начала таяния, чтобы избежать влияния дальнейшей трансформации химического состава снега. Снежная толща охватила снегонакопление за период с сентября 2017 года по июнь 2018 г. Всего было отобрано 10 проб из сезонной снежной толщи, глубина шурфа составило 125 см [10]. Анализ проб снега из шурфа представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Анализ проб снега из шурфа на леднике Гарабаши (14.06.2018 г. МСК: 11⁰⁰)

№	Толщина снега, см	Глубина, см	рН, ед	Концентрация, мг/л		
				NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
1	18	18	6,39	0	0,44	0,34
2	7	28	6,95	0,007	0,57	0,76
3	8	35	6,88	0,013	0,75	0,73
4	10	57	6,60	0,014	0,57	0,57
5	12	70	6,92	0,005	1,12	0,65
6	14	90	6,70	0,005	0,44	0,40
7	10	101	6,56	0,006	0,44	0,30
8	8	110	6,54	0,003	0,65	0,42
9	13	120	6,48	0,009	1,12	0,65
10	14	>125	6,47	0,006	0,50	0,36

Анализ полученных данных показал, что минимальная концентрация водородных ионов, равная 6,39 ед. рН наблюдалась в верхнем слое, пробе №1, отобранная на глубине 18 см с толщиной слоя снега 18 см. На глубинах 28 и 70 см рН увеличивалась на 0,5 ед. и составляла 6,92-6,95 ед. рН. Концентрация NO₂⁻ варьировала от нуля до 0,014 мг/дм³, а аммония (NH₄⁺) в пределах 0,30-0,76 мг/дм³. Накопления нитратов (NO₃⁻) отмечалось на глубинах 70 и 120 см, составляя 1,12 мг/дм³ [9].

В зимнюю межень 13.02.2018 г. был произведен пробоотбор на некоторых из указанных выше стационарных пунктах р. Баксан. Результаты приводятся в табл. 2.

Таблица 2 – Концентрация азотосодержащих ионов на стационарных пунктах р. Баксан за 13.01.2018 г.

№	Водные объекты	рН	Концентрация, мг/л		
			NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
1.	р. Гарабаши, мост	7,80	0,001	4,0	0,07
2.	р. Адылсу, п. Эльбрус	7,92	0,010	4,0	0,01
3.	р. Баксан, выше Нейтрино	8,11	0,005	4,0	0,13
4.	р. Кыртык до В. Баксана	8,22	0,001	4,0	0,14
5.	р. Баксан, выше В. Баксана	8,23	0,002	4,0	0,21
6.	р. Баксан, выше Тютюсу	7,86	0,008	5,0	0,12
7.	р. Баксан, выше с. Бедык	8,17	0,033	10,0	0,14

Сравнение концентрации азотосодержащих ионов выявил следующее: содержание нитрат ионов в речной воде р. Баксан в 2005-2007 гг. в указанные выше гидрологические режимы реки почти на порядок ниже, чем в февральских пробах 2018 г. содержание нитрит ионов примерно одного порядка и содержание ионов аммония одного порядка. Сравнение концентрации речных вод и снежной толщи показывает, что рН в снежной толще близок к кислым средам, а в речных водах – щелочные значения.

Заключение

1. По величине рН воды реки Баксан меняются от слабокислых до слабощелочных, что является хорошим показателем для их использования в различных целях.

2. Содержание ионов, вносящих основной вклад в минерализацию, увеличивается вниз по течению реки вследствие как природного обогащения, так и под воздействием антропогенных факторов.

3. Ниже населённых пунктов, содержание токсичных ионов аммония и нитрит – ионов в водах р. Баксан иногда превышает ПДК в 2-7 раз, вследствие выноса недостаточно очищенных сточных вод г. Тынрыауза, БНО, населённых пунктов и сельскохозяйственных угодий в русло реки.

4. С целью улучшения экологического состояния р. Баксан необходимо принятие комплекса природоохранных мер по предотвращению попадания неочищенных сточных вод и сброса бытового мусора в русло реки. Для этого необходимо наладить качественную работу очистных сооружений, регулярно проводить разъяснительную работу для повышения экологической грамотности и культуры населения с привлечением к этому СМИ.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Усубалиев Р.А. Изменение содержания химических элементов в системе «снег-фирн-таялая ледниковая вода» / Р.А. Усубалиев // Институт географии РАН. МГИ. Вып. 101. М.: –2006. с. 173-175

2. Усубалиев Р.А. Содержание химических элементов в сезонном снеге на поверхности ледников Тянь-Шаня в 2001-2003 гг. / Р.А. Усубалиев // Изв. Нац. АН Кыргызской Республики. - 2004. - № 4. с. 73-78

3. Научно-популярная энциклопедия «Вода России» [Электронный ресурс] URL: <http://www.water-ru.ru> (дата обращения: 21.08.2021).

4. Керимов А.М. Динамика концентрации главных и биогенных ионов в реке Баксан от его истоков до выхода на равнину / А.М. Керимов, Д.Л. Пшихачева, Б.Х. Биногеров // Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и

мониторинга качества поверхностных вод России : Материалы научно-практической конференции (с международным участием) – 2009. – С. 108-112

5. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. Москва «Химия», – 1984. – 446 с.

6. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши под ред А.Д. Семенова. Ленинград «Гидрометиздат», 1977. – 542 с.

7. Алекин О.А. «Основы гидрохимии» / О.А. Алекин. Ленинград «Гидрометиздат», 1970. – 444 с.

8. Керимов А.М. Оценка влияния макрокомпонентов, содержащихся в ледниках Приэльбрусья, на химический состав речных вод бассейна р. Баксан / А.М. Керимов, П.Ф. Зильберман, О.В. Рототаева и др. М.: МГИ. Вып. 102. 2007. – С. 147-153

9. Никаноров А.М. Гидрохимия / А.М. Никаноров. Санкт-Петербург. Гидрометиздат, 2001. – 443 с.

10. Курашева О.А. Анализ содержания главных ионов в пробах снежного покрова на леднике Гарабаша за 2018 год (КБР) / О.А. Курашева // XX Международная научно-практическая конференция «Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». Пермь, 15 августа 2021 г. Пермь, 2021. – С. 346-348

Список литературы на английском языке / References in English

1. Usubaliyev R.A. Izmeneniye sodержaniya khimicheskikh elementov v sisteme «sneg-firn-talaya lednikovaya voda» [Change in the content of chemical elements in the system "snow-firn-melt glacial water"] / R.A. Usubaliyev // Institut geografii RAN MGI. [Institute of Geography RAS MGI]. Issue 101. M.: –2006. p. 173-175 [in Russian]

2. Usubaliyev R.A. Soderzhaniye khimicheskikh elementov v sezonnom snege na poverkhnosti lednikov Tyan'-Shanya v 2001-2003 gg. [The content of chemical elements in seasonal snow on the surface of the Tien Shan glaciers in 2001-2003] / R.A. Usubaliyev // Izv. Nats. AN Kyrgyzskoy Respubliki [Izv. Nat. Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic] - 2004. - № 4. p. 73-78. [in Russian]

3. Nauchno-populyarnaya entsiklopediya «Voda Rossii» [Popular science encyclopedia "Water of Russia"] [Electronic resource] URL: <http://www.water-ru.ru> (accessed: 21.08.2021) [in Russian]

4. Kerimov A.M. Dinamika kontsentratsii glavnykh i biogennykh ionov v reke Baksan ot yego istokov do vykhoda na ravninu [The dynamics of the concentration of the main and biogenic ions in the Baksan river from its source to the exit to the plain] / A.M. Kerimov, D.L. Pshikhacheva, B.KH. Binogorov // Sovremennyye fundamental'nyye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod Rossii [Modern fundamental problems of hydrochemistry and monitoring of the quality of surface waters in Russia] : Materials of the scientific-practical conference (with international participation) – 2009. – P. 108-112. [in Russian]

5. Lur'ye YU.YU. Analiticheskaya khimiya promyshlennykh stochnykh vod [Analytical chemistry of industrial wastewater] / YU.YU. Lur'ye. Moskva «Khimiya», 1984. – 446 p. [in Russian]

6. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters], edited by A.D. Semenova. Leningrad "Gidrometizdat", 1977. - 542 p. [in Russian]

7. Alekin O.A. «Osnovy gidrokhimii» ["Fundamentals of Hydrochemistry"] / O.A. Alekin. Leningrad «Gidrometizdat», 1970. – 444 p. [in Russian]

8. Kerimov A.M. Otsenka vliyaniya makrokomponentov, sodержashchikhsya v lednikakh Priel'brus'ya, na khimicheskiy sostav rechnykh vod basseyna r. Baksan. [Assessment of the effect of macrocomponents contained in the glaciers of the Elbrus region on the chemical composition of river waters in the Baksan] / A.M. Kerimov, P.F. Zil'berman, O.V. Rototayeva et al. M.: MGI. Issue. 102. 2007. – P. 147-153 [in Russian]

9. Nikanorov A.M. Gidrokhimiya ["Hydrochemistry"] / A.M. Nikanorov. Sankt-Peterburg. Gidrometizdat 2001, – 443 p. [in Russian]

10. Kurasheva O.A. Analiz sodержaniya glavnykh ionov v probakh snezhnogo pokrova na lednike Garabashi za 2018 god (KBR) [Analysis of the content of the main ions in the samples of snow cover on the Garabashi glacier for 2018 (KBR)] / O.A. Kurasheva // XX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennyye nauchnyye issledovaniya: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii» [XX International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Research: Topical Issues, Achievements and Innovations"]. Per'm, 15 avgusta 2021 g. Per'm, 2021. – P. 346-348 [in Russian]